

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internati nale Patentklassifikation ⁷ :

F01D 11/00

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/70191

(43) Internationales

Veröffentlichungsdatum:

23. November 2000 (23.11.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/01550

(22) Internationales Anmeldedatum: 15. Mai 2000 (15.05.00)

(30) Pri ritätsdaten: 199 22 256.8 14. Mai 1999 (14.05.99) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,
D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): TIEMANN, Peter [DE/DE];
Gerichtsstrasse 4, D-58452 Witten (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten: CA, CN, IN, JP, KR, US, europäisches
Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR,
IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen
eintreffen.

(54) Title: SEALING SYSTEM FOR A ROTOR OF A TURBO ENGINE

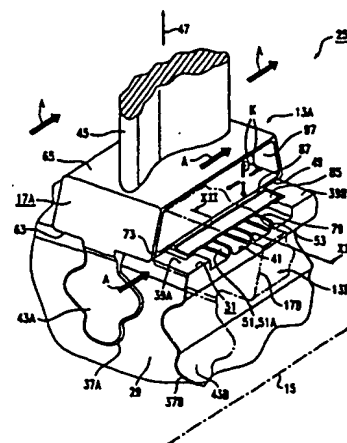
(54) Bezeichnung: DICHTSYSTEM FÜR EINEN ROTOR EINER STRÖMUNGSMASCHINE

(57) Abstract

The invention relates to a turbo engine (1), especially a gas turbine, with a rotor (25) that extends along an axis of rotation (15). Said rotor (25) comprises a peripheral surface (31) that is defined by the outer radial delimiting surface of the rotor (25) and a receiving structure (33) and a first rotor blade (13A) and a second rotor blade (13B) which have each a blade root (43A, 43B) and a blade platform (17A, 17B). The blade platform (17A) of the first rotor blade (13A) and the blade platform (17B) of the second rotor blade (13B) adjoin. The blade platforms (17A, 17B) and the peripheral surface (31) define between them an intermediate space (49). A sealing system (51) is provided on the peripheral surface (31) in the intermediate space (49), said sealing system being of the labyrinth box type.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Strömungsmaschine (1), insbesondere eine Gasturbine, mit einem sich entlang einer Rotationsachse (15) erstreckenden Rotor (25). Der Rotor (25) umfaßt eine Umfangsfläche (31), die durch die äußere radiale Begrenzungsfläche des Rotors (25) definiert ist, und eine Aufnehmstruktur (33) sowie eine erste Laufschaufel (13A) und eine zweite Laufschaufel (13B), die jeweils einen Schaufelfuß (43A, 43B) und eine Schaufelplattform (17A, 17B) aufweisen. Die Schaufelplattform (17A) der ersten Laufschaufel (13A) und die Schaufelplattform (17B) der zweiten Laufschaufel (13B) grenzen aneinander an, und zwischen den Schaufelplattformen (17A, 17B) und der Umfangsfläche (31) ist ein Zwischenraum (49) gebildet. Auf der Umfangsfläche (31) ist in dem Zwischenraum (49) ein Dichtsystem (51) vorgesehen, wobei das Dichtsystem ein Labyrinthdichtsystem aufweist.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauritanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland		
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Beschreibung

DICHTSYSTEM FÜR EINEN ROTOR EINER STRÖMUNGSMASCHINE

5

Die Erfindung betrifft eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine, mit einem Dichtsystem für einen Rotor, der sich entlang der Rotationsachse erstreckt, wobei der Rotor eine erste Laufschaufel und eine an die erste Laufschaufel in Umfangsrichtung des Rotors angrenzende zweite Laufschaufel aufweist.

15

Rotierbare Laufschaufeln von Strömungsmaschinen, beispielsweise von Turbinen oder Kompressoren, sind in unterschiedlichen Ausgestaltungen über den vollen Umfang an der Umfangsfläche einer Rotorwelle, die z.B. durch eine Laufscheibe gebildet ist, befestigt. Eine Laufschaufel weist dabei üblicherweise ein Schaufelblatt, eine Schaufelplattform sowie einen Schaufelfuß mit einer Befestigungsstruktur auf, welche von einer entsprechend komplementär ausgestalteten Ausnehmung, die beispielsweise als Umfangsnut oder Axialnut hergestellt ist, an der Umfangsfläche der Rotorwelle passend aufgenommen wird, und auf diese Weise die Laufschaufel fixiert. Konstruktiv bedingt sind nach dem Einsetzen der Laufschaufeln in die Rotorwelle durch die jeweils aneinander grenzenden Bereiche Spalte gebildet, die im Betrieb einer Turbine Anlaß zu Leckageströmen von Kühlmittel oder eines den Rotor antreibenden heißen Aktionsfluids geben. Solche Spalte treten beispielsweise zwischen zwei aneinander grenzenden Schaufelplattformen von in Umfangsrichtung benachbarten Laufschaufeln sowie zwischen der Umfangsfläche der Rotorwelle und einer radial an die Umfangsfläche angrenzenden Schaufelplattform auf. Um die möglichen Leckageströme, wie etwa das Entweichen von Kühlmittel, z.B. von Kühlluft, in den Strömungskanal einer Gasturbine, zu begrenzen, wird intensiv nach geeigneten Dichtkonzepten gesucht, die beständig sind gegenüber den auf-

35

tretenden Temperaturen und der mechanischen Belastung infolge der beträchtlichen Fliehkräfte auf das rotierende System.

Aus der DE 198 10 567 A1 geht eine Dichtungsplatte für eine
5 Laufschaufel einer Gasturbine hervor. Wenn Kühlluft, die der Laufschaufel zugeführt wird, in den Strömungskanal entweicht, führt dies unter anderem zu einer Herabsetzung des Wirkungsgrades der Gasturbine. Die Dichtungsplatte, die in einen
10 Spalt zwischen den Schaufelplattformen benachbarter Laufschaufeln eingesetzt ist, soll die Leckageströme infolge des Austritts von Kühlluft verhindern. Die Dichtung erfolgt außer durch die genannte Dichtungsplatte durch verschiedene Dichtungsstifte, die ebenfalls zwischen die Schaufelplattformen
15 zweier benachbarter Laufschaufeln eingebaut sind. Es ist eine Vielzahl von Dichtelementen notwendig, um die gewünschte Dichtwirkung gegen den Austritt von Kühlluft aus den benachbarten Schaufelplattformen zu erreichen.

In der US Patentschrift 5,599,170 ist ein Dichtkonzept für
20 eine Laufschaufel einer Gasturbine beschrieben. Durch zwei aneinander grenzende benachbarte Laufschaufeln, die in einer um eine Achse rotierbare Laufscheibe an der Umfangsfläche der Laufscheibe befestigt sind, ist ein im wesentlichen sich radial erstreckender Spalt und ein im wesentlichen sich axial
25 erstreckender Spalt gebildet. Ein Dichtelement dichtet den radialen und zugleich den axialen Spalt ab. Das Dichtelement ist hierfür in einen Hohlraum eingesetzt, welcher durch die Schaufelplattformen der Laufschaufeln gebildet ist. Das Dichtelement weist eine erste und eine zweite Dichtfläche
30 auf, die an den axialen bzw. radialen Spalt angrenzt. Das Dichtelement weist außerdem eine Schubfläche auf, die sich schräg zu der radialen Richtung erstreckt. Die Schubfläche grenzt unmittelbar an eine Reaktionsfläche an, die als
35 Teilfläche eines in dem Hohlraum angeordneten beweglichen Reaktionselements gebildet ist. Die Dichtwirkung wird durch die infolge der Rotation der Laufscheibe auf das bewegliche Reaktionselement wirkenden Fliehkräfte erzielt. Das Reaktionsele-

ment überträgt auf die schräge Schubfläche eine Kraft, deren radial gerichtete Kraftkomponente auf das Dichtelement bewirkt, daß die erste Dichtfläche den axialen Spalt abdichtet, während deren axial gerichtete Kraftkomponente auf das Dicht-
5 element dazu führt, daß die zweite Dichtfläche den radialen Spalt abdichtet. Ein Austritt von Kühlluft in den Strömungskanal der Gasturbine entlang der Umfangsfläche der Laufscheibe durch Spalte, die zwischen der Umfangsfläche der Laufscheibe und einer radial an die Umfangsfläche angrenzenden
10 Schaufelplattform einer Laufschaufel gebildet sind, kann mit diesem Dichtkonzept nicht verhindert werden.

Ähnlich aufwendige Anordnungen mit einem oder mehreren Dicht-
elementen, wie sie in der DE 198 10 567 A1 bzw. der US Pa-
15 tentschrift 5,599,170 beschrieben sind, werden in einer Strömungsmaschine weiterhin dazu benutzt, den Eintritt eines strömenden heißen Aktionsfluids, z.B. eines heißen Gases oder Dampfes, in Spaltbereiche und Zwischenräume eines Rotors zu verhindern. Ein derartiger Aktionsfluideintritt kann zu einer
20 erheblichen Beschädigung der Laufschaufel führen. Um diese Gefahr zu vermindern, werden an der dem Aktionsfluidstrom zugewandten Seite der Schaufelplattform der Laufschaufel im allgemeinen mehrere Dichtungselemente in die Schaufelplattform eingesetzt.

25 Aus der EP 0 761 930 A1 sowie der GB 905,582 geht jeweils eine Turbomaschine mit einem Turbinenläufer hervor. Der Turbinenläufer ist hierbei in Scheibenbauweise ausgeführt und aus einzelnen, axial zueinander benachbart angeordneten
30 Läuferscheiben zusammengesetzt. Am Umfang der Läuferscheiben sind Laufschaufeln angeordnet, die jeweils in einer axialen Nut in der Läuferscheibe, z.B. eine axiale Tannenbaumnut oder eine Hammerkopfnut, mit ihrem jeweiligen Schaufelfuß befestigt sind. Durch stirnseitig auf den Läuferscheiben fest
35 montierten Befestigungsplatten erfolgt eine Axialfixierung der Laufschaufeln im Schaufelfuß-Nut-Bereich. Durch die stirnseitigen Befestigungsplatten ist auch eine gewisse

Dichtwirkung gegenüber einem möglichen Eintritt von Aktionsfluid, z.B. ein heißes Gas, im Schaufelfuß-Nut-Bereich erzielbar. Primär dienen die Befestigungsplatten jedoch der Axialfixierung der Laufschaufeln.

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für eine Strömungsmaschine mit einem sich entlang einer Rotationsachse erstreckenden Rotor, der eine erste Laufschaufel und eine in Umfangsrichtung des Rotors an die erste Laufschaufel angrenzende zweiten Laufschaufel aufweist, ein hocheffizientes Dichtsystem anzugeben. Das Dichtsystem soll insbesondere eine wirksame Begrenzung der möglichen Leckageströmen durch Spaltbereiche und Zwischenräume des Rotors gewährleisten, und gegenüber den auftretenden thermischen und mechanischen Belastungen beständig sein. Zusätzlich soll das Dichtsystem so ausgestaltet sein, daß es möglichst einfach herstellbar und bei verschiedenen Rotoren anwendbar ist.

10

15

20

25

30

35

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbine, mit einem sich entlang einer Rotationsachse erstreckenden Rotor, umfassend eine Umfangsfläche, die durch die äußere radiale Begrenzungsfläche des Rotors definiert ist, und eine Aufnehmstruktur, sowie eine erste Laufschaufel und eine zweite Laufschaufel, die jeweils einen Schaufelfuß und eine an den Schaufelfuß angrenzende Schaufelplattform aufweist, wobei der Schaufelfuß der ersten Laufschaufel und der Schaufelfuß der zweiten Laufschaufel in die Aufnehmstruktur eingesetzt sind, so daß die Schaufelplattform der ersten Laufschaufel und die Schaufelplattform der zweiten Laufschaufel aneinander grenzen, und zwischen den Schaufelplattformen und der Umfangsfläche ein Zwischenraum gebildet ist, wobei auf der Umfangsfläche in dem Zwischenraum ein Dichtsystem vorgesehen ist, wobei das Dichtsystem zumindest ein Labyrinthdichtsystem aufweist.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß im Betrieb einer Strömungsmaschine der Rotor einem strömenden heißen Ak-

tionsfluid ausgesetzt ist. Das heiße Aktionsfluid verrichtet infolge der Expansion Arbeit an den Laufschaufeln und versetzt diese in Rotation um die Rotationsachse. Daher ist der Rotor mit den Laufschaufeln sowohl thermisch als auch mechanisch, insbesondere durch die infolge der Rotation auftretenden Fliehkräfte, sehr stark belastet. Zur Kühlung des Rotors und vor allem der Laufschaufeln wird ein Kühlmittel, z.B. Kühlluft, verwendet, welches üblicherweise durch geeignete Khlmittelzufhrungen dem Rotor zugeführt wird. Dabei können sowohl Leakageströme an Kühlmittel als auch an heißem Aktionsfluid - sogenannte Spaltverluste, in dem Zwischenraum auftreten. Ein Zwischenraum wird hierbei gebildet durch die Umfangsfläche, die hier durch die äußere radiale Begrenzungsfläche des Rotors definiert ist, sowie durch die radial auswärts der Umfangsfläche angeordneten jeweiligen Plattform von in Umfangsrichtung des Rotors benachbart angeordneten Laufschaufeln. Diese Leakageströme wirken sich sehr nachteilig auf die Kühleffizienz sowie die mechanische Einbaufestigkeit (Laufruhe und Zeitstandfestigkeit) der Laufschaufeln in der Aufnehmstruktur der Umfangsfläche aus. Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang Leakageströme, welche entlang der Rotationsachse (axiale Leakageströme), beispielsweise entlang der Umfangsfläche, orientiert sind. Darüber hinaus sind auch Leakageströme senkrecht zur Rotationsachse (radiale Leakageströme), die entlang einer radialen Richtung und somit im wesentlichen senkrecht zur Umfangsfläche gerichtet sind, zu beachten.

Mit der Erfindung wird ein neuer Weg aufgezeigt, um in einer Strömungsmaschine einen Rotor mit einer ersten Laufschaufel und mit einer in Umfangsrichtung des Rotors an die erste Laufschaufel angrenzenden zweiten Laufschaufel gegenüber möglichen Leakageströmen wirksam abzudichten. Dabei werden sowohl axiale als auch radiale Leakageströme berücksichtigt. Dies wird dadurch erreicht, daß das ein Labyrinthdichtsystem aufweisendes Dichtsystem in dem Zwischenraum auf der durch die radial äußere Begrenzungsfläche des Rotors Umfangsfläche

des Rotors angeordnet ist. Durch die angegebene Ausgestaltung dichtet das Dichtsystem den Zwischenraum ab, der zwischen den Schaufelplattformen und der Umfangsfläche gebildet ist. Der Zwischenraum erstreckt sich dabei in radialer und axialer Richtung sowie in Umfangsrichtung des Rotors. Hierbei ist die axiale Ausdehnung des Spalts im allgemeinen dominierend, und dessen Ausdehnung in Umfangsrichtung ist größer als die radiale Dimension. Die genaue Geometrie des Zwischenraums ist von der speziellen Ausgestaltung der aneinander grenzenden Schaufelplattformen sowie der Umfangsfläche bestimmt. Das angegebene, ein Labyrinthdichtsystem aufweisende Dichtsystem kann in seiner Ausgestaltung individuell an die jeweilige Geometrie und die Anforderungen hinsichtlich der zu begrenzenden Leckageströme angepaßt werden, wobei das Vorsehen eines Labyrinthdichtsystems besonders wirkungsvoll zur Zwischenraumabdichtung geeignet ist.

Die Wirkungsweise eines Labyrinthdichtsystems beruht auf einer möglichst effektiven Drosselung des heißen Aktionsfluids und/oder des Kühlmittels in dem Dichtsystem und einer damit bewirkten weitgehenden Unterdrückung eines axial gerichteten Leckagestroms (Leckage-Massenstrom) durch den Zwischenraum. Dabei kann ein residualer Leckagestrom durch bestehende Dichtspalte, wie sie beispielsweise bei Labyrinthspaltdichtungen im allgemeinen auftreten, unter Berücksichtigung des sogenannten Überbrückungsfaktors berechnet werden. Bei gleichen Strömungsparametern vor und hinter der Dichtung und gleichen Hauptabmessungen des Labyrinthdichtsystems (Dichtspaltdurchmesser, Dichtspaltweite, axiale Gesamtlänge der Dichtung) weisen Labyrinthspaltdichtsysteme, die auch als Durchblickdichtungen bezeichnet werden, gegenüber sogenannten Kamm-Nut-Dichtsystemen einen bis zu 3,5 mal größeren Leckagestrom durch den Dichtspalt auf. Labyrinthspaltdichtsysteme haben jedoch aufgrund des verbleibenden Dichtspalts gegenüber den Kamm-Nut-Dichtsystemen den großen Vorteil, daß sie selbst für große thermisch und/oder mechanisch induzierte Relativdehnungen im Rotor geeignet sind.

Ein wesentlicher Vorteil gegenüber herkömmlichen Dichtkonzepten ergibt sich aus der Anordnung des Labyrinthdichtsystems auf der Umfangsfläche. Hierdurch gelingt es, daß das Labyrinthdichtsystem unmittelbar an die Umfangsfläche angrenzt und eine Dichtwirkung hergestellt ist. Dies ist zur Verhinderung von Leckageströmen in axialer Richtung entlang der Umfangsfläche besonders gut geeignet. Beispielsweise wird bereits der Eintritt von einem heißen Aktionsfluid, z.B. des Heißgases in einer Gasturbine, in den Zwischenraum weitgehend unterbunden, und eine axial gerichtete Strömung im Zwischenraum entlang der Umfangsfläche erheblich vermindert. Dies schützt den Werkstoff des Rotors, insbesondere den Werkstoff der Schaufelplattformen, vor den hohen Temperaturen und den möglichen oxidierenden und korrosiven Einflüssen des heißen Aktionsfluids. Das Dichtsystem mit dem Labyrinthdichtsystem kann in radialer Richtung so dimensioniert sein, daß es unmittelbar an die benachbarten Schaufelplattformen angrenzt und eine Dichtwirkung erreicht ist. Auf diese Weise wird ein axialer Leckagestrom praktisch vollständig verhindert, zumindest aber deutlich unterdrückt.

Durch die Verhinderung von Leckageströmen von heißem Aktionsfluid und/oder von Kühlmittel in dem Zwischenraum durch das Dichtsystem werden Temperaturgradienten im Bereich der Laufschaufelbefestigung vermieden. Hier entfaltet das Labyrinthdichtsystem besonders effizient seine Dichtfunktion. Mögliche Wärmespannungen, die aus einer behinderten Wärmedehnung von aneinander grenzenden Rotorkomponenten bei Temperaturdifferenzen resultieren, werden dadurch reduziert. Der Schaufelfuß einer Laufschaufel und die Aufnehmstruktur des Rotors, die die Laufschaufel aufnimmt und fixiert, können daher mit einer deutlich geringeren Toleranz hergestellt werden. Ein geringeres Toleranzmaß wirkt sich vorteilhaft auf die mechanische Einbaufestigkeit der Laufschaufel und die Laufruhe des Rotors aus. Insbesondere können Passungen, die zur Befestigung des Schaufelfußes in der Aufnehmstruktur vorgesehen sind, mit einem geringeren Spiel versehen werden,

was auch mögliche Leckageströme durch die Passung entsprechend vermindert.

Ein weiterer Vorteil liegt in der einfachen Herstellung und Montage des Dichtsystems. Da das Dichtsystem mit dem Labyrinthdichtsystem auf der Umfangsfläche vorgesehen ist, ist es nicht notwendigerweise fest an eine Laufschaufel angekoppelt. Montage- oder Reparaturarbeiten an einer Laufschaufel, wie z.B. das Austauschen einer Laufschaufel, sind somit ohne großen Aufwand möglich. Das Dichtsystem bleibt davon unberührt und kann somit auch mehrfach verwendet werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung weist in der Strömungsmaschine der Rotor eine Laufscheibe auf, die die Umfangsfläche und die Aufnehmstruktur umfaßt, wobei die Umfangsfläche einen ersten Umfangsflächenrand und einen entlang der Rotationsachse dem ersten Umfangsflächenrand gegenüberliegenden zweiten Umfangsflächenrand aufweist, wobei die Aufnehmstruktur eine erste Laufscheibennut und eine in Umfangsrichtung der Laufscheibe zur ersten Laufscheibennut beanstandete zweite Laufscheibennut aufweist, und wobei der Schaufelfuß der ersten Laufschaufel in die erste Laufscheibennut und der Schaufelfuß der zweiten Laufschaufel in die zweite Laufscheibennut eingesetzt ist.

Die Befestigung der rotierbaren Laufschaufeln ist damit so beschaffen, daß sie im Betrieb der Strömungsmaschine die Schaufelbeanspruchungen durch Strömungs- und Fliehkräfte sowie durch Schaufelschwingungen mit hoher Sicherheit aufnehmen und die auftretenden Kräfte auf die Laufscheibe und schließlich den gesamten Rotor übertragen kann. Die Befestigung der Laufschaufel kann beispielsweise durch Axialnuten erfolgen, wobei jede Laufschaufel einzeln in eine eigens dafür vorgesehene, im wesentlichen in axialer Richtung sich erstreckende, Laufscheibennut eingespannt wird. Für geringe Beanspruchungen, z.B. bei Axialverdichter-Laufschaufeln von Verdichtern,

sind einfache Befestigungen der Laufschaufel, beispielsweise mit einem Schwalbenschwanz- oder Lavalfuß, möglich. Für Dampfturbinen-Endstufen mit langen Laufschaufeln und entsprechend großen Schaufelfliehkraften kommt neben dem sogenannten Steckfuß auch der axiale Tannenbaumfuß in Frage. Die axiale Tannenbaumbefestigung findet bevorzugterweise auch Anwendung bei thermisch hochbelasteten Laufschaufeln in Gasturbinen.

In der oben angegebenen bevorzugten Ausgestaltung weist die Umfangsfläche einen ersten Umfangsflächenrand und einen zweiten Umfangsflächenrand als Teilbereiche auf. Bezüglich der Strömungsrichtung eines strömenden heißen Aktionsfluids, insbesondere des Heißgases einer Gasturbine, ist hierbei beispielsweise der erste Umfangsflächenrand stromaufwärts und der zweite Umfangsflächenrand stromabwärts angeordnet. Je nach konstruktiven Gegebenheiten und Anforderung hinsichtlich der zu erreichenden Dichtwirkung, ermöglicht diese geometrische Aufgliederung eine Ausgestaltung und Anordnung des Dichtsystems auf verschiedenen Teilbereichen der Umfangsfläche.

Vorzugsweise ist das Dichtsystem auf dem ersten Umfangsflächenrand und/oder auf dem zweiten Umfangsflächenrand angeordnet. Das Labyrinthdichtsystem kann dabei zumindest teilweise auf dem ersten und/oder auf dem zweiten Umfangsflächenrand angeordnet sein. Die Anordnung des Dichtsystems auf dem ersten, beispielsweise stromaufwärts angeordneten, Umfangsflächenrand begrenzt in erster Linie den Eintritt von strömendem heißem Aktionsfluid in den Zwischenraum, und verhindert somit eine Beschädigung der Laufschaufel. Die Anordnung des Dichtsystems auf dem zweiten, stromabwärts angeordneten, Umfangsflächenrand dient vorwiegend dazu, den Austritt von Kühlmittel, z.B. unter einem bestimmten Druck stehende Kühlluft im Zwischenraum, in axialer Richtung entlang der Umfangsfläche über den zweiten Umfangsflächenrand in den Strömungskanal weitgehend zu unterbinden. Da sich das heiße Aktionsfluid in Strömungsrichtung entspannt, wird der Druck

des heißen Aktionsfluids in Strömungsrichtung kontinuierlich
abgebaut. Ein unter einem gewissen Druck stehendes Kühlmittel
im Zwischenraum wird daher in Richtung des geringeren Umge-
bungsdruckes aus dem Zwischenraum austreten, also am strom-
5 abwärtigen Umfangsflächenrand. Die Anordnung des Dichtsystems
mit dem Labyrinthdichtsystem auf dem ersten Umfangsflächen-
rand und auf dem zweiten Umfangsflächenrand schließt den
Zwischenraum ab und bietet demzufolge eine große Sicherheit
sowohl gegenüber dem Eintritt von heißem Aktionsfluid in den
10 Zwischenraum als auch dem Austritt von Kühlmittel aus dem
Zwischenraum.

Vorzugsweise ist auf der Umfangsfläche ein Umfangsflächenmit-
tenbereich gebildet, der in axialer Richtung von dem ersten
15 Umfangsflächenrand und dem zweiten Umfangsflächenrand einge-
randet ist, wobei das Dichtsystem zumindest teilweise auf dem
Umfangsflächenmittenbereich angeordnet ist. Dabei ist das
Labyrinthdichtsystem bevorzugt auf dem Umfangsflächenmitten-
bereich angeordnet. Der Umfangsflächenmittenbereich bildet
20 einen Teilbereich der Umfangsfläche. Zusammen mit dem ersten
und dem zweiten Umfangsflächenrand stehen damit unterschied-
liche Möglichkeiten zur Verfügung, das Dichtsystem auf ver-
schiedenen Teilbereichen der Umfangsfläche anzuordnen. Je
nach konstruktiven Gegebenheiten und Anforderung hinsichtlich
25 der zu erreichenden Dichtwirkung, kann man eine geeignete
Lösung bestimmen, wobei das Dichtsystem auf verschiedenen
Teilbereichen angeordnet wird. Bei der Anordnung des Dicht-
systems sind auch Kombinationen verschiedener Teilbereiche
vorstellbar. Das angegebene Dichtsystem bietet daher im
30 Hinblick auf die Adaption an konkrete Anforderungen bezüglich
der zu erzielenden Dichtwirkung eine sehr große Flexibilität.

Bevorzugt weist das Dichtsystem mit dem Labyrinthdichtsystem
ein sich in Umfangsrichtung erstreckendes Dichtelement auf.
35 Der Zwischenraum erstreckt sich im wesentlichen in radialer
und axialer Richtung sowie in Umfangsrichtung des Rotors. Ein
sich entlang der Umfangsrichtung des Rotors erstreckendes

Dichtelement im Zwischenraum eignet sich besonders gut dazu, mögliche axiale Leakageströme an Kühlmittel und/oder auch an heißem Aktionsfluid mit hoher Effizienz zu behindern. So wird beispielsweise ein stromaufwärts gerichteter axialer Leakagestrom, z.B. ein Heißgas aus dem Strömungskanal einer Gasturbine, der sich entlang der Umfangsfläche ausbreitet, durch das Dichtelement wirkungsvoll behindert. Die Leakageströmung wird hierbei durch das Hindernis im Zwischenraum verzögert und schließlich auf der der Leakageströmung zugewandten Seite des Dichtelements zum Stillstand kommen (einfache Drossel). Die der Leakageströmung abgewandte Seite des Dichtelements und der sich in axialer Richtung daran anschließende Teil des Zwischenraums wird durch das einfache Dichtelement vor einer Beaufschlagung mit dem Leakagemedium, z.B. heißes Aktionsfluid oder Kühlmittel, bereits wirksam geschützt. Die Wirkungsweise des Dichtelements kann also ähnlich wie die des Labyrinthdichtsystems sein, was die Dichtwirkung verstärkt.

Eine deutliche Verbesserung der oben beschriebenen einfachen Lösung mit einem in Umfangsrichtung sich erstreckenden Dichtelement ergibt sich durch die Kombination des Dichtelements mit einem oder mehreren weiteren Dichtelementen. In einer bevorzugten Ausgestaltung ist mindestens ein weiteres Dichtelement vorgesehen, das sich in Umfangsrichtung erstreckt und axial beabstandet zu dem Dichtelement angeordnet ist. Durch diese Mehrfachanordnung von Dichtelementen werden mögliche Leakageströme im Zwischenraum erheblich reduziert. Insbesondere kann man beispielsweise das Dichtelement auf dem ersten Umfangsflächenrand und das weitere Dichtelement auf dem zweiten Umfangsflächenrand anordnen. Dadurch ist eine stromaufwärtige und eine stromabwärtige Abdichtung des Zwischenraums gegenüber axialen Leakageströmen hergestellt. Der Zwischenraum wird insbesondere vor einem möglichem Eintritt von heißem Aktionsfluid sowohl von dem stromaufwärtigen Bereich höheren Drucks als auch von dem stromabwärtigen Bereich niedrigeren Drucks des Strömungskanals sehr effektiv geschützt. Zugleich wird der abgedichtete Zwischenraum gut nutzbar für ein

Kühlmittel, z.B. Kühlluft. Das Kühlmittel wird dabei unter Druck dem Zwischenraum zugeführt und vor allem für eine effiziente Innenkühlung des thermisch hochbelasteten Rotors, der Schaufelplattform und des radial an die Schaufelplattform angrenzenden Schaufelblatts, verwendet. Eine weitere vorteilhafte Verwendung des unter Druck stehenden Kühlmittels im Zwischenraum besteht in der Ausnutzung seiner Sperrwirkung gegenüber dem heißen Aktionsfluid im Strömungskanal. Durch die konstruktive Ausgestaltung der Dichtelemente und die Wahl des Druckes des Kühlmittels in dem Zwischenraum wird erreicht, daß die Druckdifferenz zwischen dem Kühlmittel und dem heißen Aktionsfluid hinreichend gering aber genügend hoch ist, um gegenüber dem heißen Aktionsfluid eine Sperrwirkung zu erzielen. Hierfür muß der in den Zwischenraum herrschende Druck des Kühlmittels nur geringfügig über dem stromaufwärtigen Druck des heißen Aktionsfluids liegen. Je größer die Dichtwirkung der Dichtelemente, desto geringer fallen eventuelle residuale Leckageströme von Kühlmittel in den Strömungskanal aus.

Bevorzugt ist in dem Dichtsystem zumindest das Labyrinthdichtsystem einstückig, insbesondere durch Materialabtrag von der Laufscheibe, hergestellt. Bei einer Ausgestaltung des Dichtsystems z.B. als einfaches Labyrinthdichtsystem ist dieses bereits durch mindestens zwei in Umfangsrichtung der Laufscheibe sich erstreckende und axial zueinander beabstandete Dichtelemente auf der Umfangsfläche realisiert. Diese Dichtelemente können durch aus dem Vollen gedrehte Drosselbleche ausgeführt sein. Die einstückige Herstellungsweise hat den Vorteil, daß man kein zusätzliches Verbindungselement zwischen dem Labyrinthdichtsystem und der Umfangsfläche benötigt. Verfahrenstechnisch kann somit Bearbeitung der Laufscheibe und die Herstellung des Labyrinthdichtsystems in einem Schritt und an einer Drehmaschine durchgeführt werden, was sehr kostengünstig ist. Darüber hinaus spielen thermisch induzierte Spannungen zwischen der Laufscheibe und dem Labyrinthdichtsystem keine Rolle, weil nur ein Werkstoff zur Ver-

wendung kommt. Alternative Ausgestaltungen des Dichtelements, etwa durch ein auf die Laufscheibe aufgeschweißtes Drosselblech, oder durch ein in eine Nut in der Umfangsfläche eingestemmttes Drosselblech, sind ebenfalls möglich.

5

Bevorzugt weist das Dichtelement an dessen äußerem radialen Ende eine Dichtspitze, insbesondere eine Messerkante, auf. Residuale Leakageströme durch den Zwischenraum werden entscheidend beeinflusst von der ausführbaren Dichtspaltweite, d.h. beispielsweise dem Abstand zwischen dem äußeren radialen Ende des Dichtelements und der daran angrenzenden abzudichtenden Schaufelplattform. Um die Dichtspaltweite möglichst gering herzustellen, ist eine Zuschärfung des äußeren radialen Endes des Dichtelements vorgesehen. Dabei kann auch eine Dichtspaltüberbrückung durchgeführt werden, indem die Dichtspitze oder die Messerkante mit einem geringen Aufmaß gegenüber dem radialen Einbaumaß der Schaufelplattform hergestellt wird. Durch ein Anstreifen der Dichtspitze oder der Messerkante an die Schaufelplattform, wird der Dichtspalt beim Einsetzen der Laufschaufel in die Aufnehmstruktur, z.B. in eine Axialnut einer Laufscheibe, überbrückt. Auf diese Weise wird der Dichtspalt geschlossen, eine verbesserte Dichtung erzielt und der axiale Leakagestrom weiter vermindert. Gegenüber herkömmlichen Ausgestaltungen ist damit auch eine deutliche Verringerung des Einbaumaßes einer Laufschaufel in die Aufnehmstruktur realisierbar. Das bisher übliche Mindesteinbaumaß von derzeit zwischen etwa 0.3 bis 0.6 mm kann durch das neue Konzept auf etwa 0.1 bis 0.2 mm verringert werden, also wird etwa eine Drittelung erreicht.

30

Vorzugsweise umfaßt das Labyrinthdichtsystem das Dichtelement und/oder das weitere Dichtelement. Das Dichtelement und das weitere Dichtelement sind somit Bestandteil des Labyrinthdichtsystems.

Bevorzugt ist das Labyrinthdichtsystem als Labyrinthspaltdichtsystem ausgestaltet. In einer bevorzugten Ausgestaltung ist ein Spaltdichtelement zur Dichtung eines im wesentlichen sich axial erstreckenden Spalts vorgesehen, wobei der Spalt zwischen der Schaufelplattform der ersten Laufschaufel und der Schaufelplattform der zweiten Laufschaufel gebildet ist und in Strömungsverbindung mit dem Zwischenraum steht. Das Spaltdichtelement verhindert, daß ein Leakagestrom durch den Spalt auftritt. Ein solcher Leakagestrom ist im wesentlichen radial gerichtet und kann dabei sowohl von dem Zwischenraum durch den Spalt radial auswärts als auch durch den Spalt in den Zwischenraum radial einwärts orientiert sein.

Hierbei sind unterschiedliche Ausgestaltungen möglich:

15 Grenzt beispielsweise an den Spalt radial auswärts der Strömungskanal der Strömungsmaschine, z.B. eines Verdichters oder einer Gasturbine, an, so wird durch das Spaltdichtelement der Eintritt des Aktionsfluid, z.B. des Heißgases in einer Gasturbine, durch den Spalt radial einwärts in den Zwischenraum verhindert. Dadurch wird der Rotor, insbesondere die Laufschaufel, vor einem oxidierenden und/oder korrosiven Angriff im Zwischenraum geschützt. Zugleich verhindert das Spaltdichtelement das Austreten von Kühlmittel, z.B. Kühlluft, von dem Zwischenraum durch den Spalt radial auswärts in den Strömungskanal. In einer alternativen Ausgestaltung kann sich an den Spalt radial auswärts auch ein Hohlraum anschließen, der durch die in Umfangsrichtung aneinander grenzende erste und zweite Laufschaufel gebildet ist (sogenanntes Box-Design einer Laufschaufel). Hierbei verhindert das Spaltdichtelement einerseits den möglichen Eintritt von heißem Aktionsfluid von dem Zwischenraum durch den Spalt radial auswärts in den Hohlraum. Andererseits kann der durch das Spaltdichtelement abgedichtete Hohlraum mit einem Kühlmittel, z.B. Kühlluft, beaufschlagt werden. Dieses wird in dem Hohlraum unter Druck gesetzt und steht z.B. für eine effiziente Innenkühlung der thermisch hochbelasteten Laufschaufel oder für andere Kühlzwecke zur Verfügung. Eine weitere vorteilhafte Verwen-

derung des unter Druck stehenden Kühlmittels im Hohlraum besteht in der Ausnutzung seiner Sperrwirkung gegenüber dem heißen Aktionsfluid im Strömungskanal.

- 5 Bevorzugt ist das Spaltdichtelement durch ein Spaltdichtblech hergestellt, welches eine Spaltdichtkante aufweist, die unter Fliehkrafteinwirkung in den Spalt eingreift und den Spalt verschließt. Die Ausgestaltung des Spaltdichtelements als Spaltdichtblech ist eine einfache und kostengünstige Lösung.
- 10 Dabei ist beispielsweise eine Ausgestaltung als dünner Metallstreifen, der eine Längsachse und eine Querachse aufweist, möglich. Dabei erstreckt sich die Spaltdichtkante im wesentlichen mittig auf dem Metallstreifen entlang der Längsachse und kann in einfacher Weise durch Umknicken des Metallstreifens hergestellt sein. Das Spaltdichtelement ist
- 15 günstigerweise in dem Zwischenraum angeordnet. Im Betrieb der Strömungsmaschine wird das Spaltdichtelement dann infolge der Rotation durch die radial auswärts gerichtete Fliehkraft fest gegen die aneinander grenzenden Schaufelplattform gedrückt, wobei die Spaltdichtkante in den Spalt eingreift und diesen
- 20 wirkungsvoll abdichtet.

- Vorzugsweise ist das Spaltdichtelement aus einem hochwarmfesten Material, insbesondere aus einer Nickelbasis- oder Kobaltbasislegierung, hergestellt. Diese Legierungen besitzen
- 25 zudem auch ausreichende elastische Verformungseigenschaften. Das Material des Spaltdichtelements wird angepaßt an das Material des Rotors ausgewählt, wodurch Verunreinigungen oder Diffusionsschäden vermieden werden. Ferner ist eine gleichmäßige thermische Ausdehnung oder Kontraktion des Rotors, insbesondere der Schaufelplattform der Laufschaufel, sichergestellt.
- 30

- Vorzugsweise grenzt das Spaltdichtelement radial an das
- 35 Dichtsystem an. Durch die Kombination des Spaltdichtelements mit einem auf der Umfangsfläche angeordneten Dichtsystem, insbesondere mit einem Labyrinthdichtsystem, ist eine beson-

ders effektive Abdichtung des Zwischenraums gegenüber möglichen Leakageströmen an heißem Aktionsfluid und/oder an Kühlmittel erreicht. Insbesondere bleibt dadurch eine fliehkraftunterstützte Dichtwirkung des Spaltdichtelements zur Abdichtung eines axial sich erstreckenden Spalts bestehen. In dieser Kombination vermindert das Dichtsystem die im wesentlichen axial gerichteten Leakageströme, während das Spaltdichtelement die im wesentlichen radial gerichteten Leakageströme vermindert. Durch diese funktionale Trennung ist ferner eine flexible konstruktive Anpassung an verschiedene Rotorgeometrien ohne weiteres möglich. Das Spaltdichtelement und das Dichtsystem ergänzen sich somit sehr wirkungsvoll.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung greift das Dichtelement in eine Ausnehmung, insbesondere in eine Nut, in der Umfangsfläche ein. In dieser Variante ist das Dichtelement nicht notwendigerweise ein Teil des Labyrinthsystems, wohl aber des Dichtsystems. Eine Herausfallsicherung des Dichtelements und/oder eine Sicherung gegen Herausschleudern des Dichtelements bei Fliehkrafteinwirkung im stationären Betrieb oder bei einer transienten Belastung der Strömungsmaschine, wird dadurch erreicht, daß das Dichtelement in eine geeignete Ausnehmung eingreift. Durch die Ausnehmung wird darüber hinaus auf der Umfangsfläche eine Dichtfläche hergestellt, die zweckmäßigerweise als eine Teilfläche der Ausnehmung ausgebildet ist. Im Falle einer Nut ist diese Dichtfläche beispielsweise auf dem Nutgrund ausgeführt. Zur Erzielung einer möglichst guten Dichtwirkung beim Eingriff des Dichtelements ist die Dichtfläche mit entsprechend geringer und wohldefinierter Oberflächenrauigkeit hergestellt. Nach der eigentlichen Herstellung der Nut, beispielsweise durch Materialabtrag von der Umfangsfläche mittels eines Fräs- oder Drehvorgangs, kann auf dem Nutgrund durch Polieren eine Dichtfläche mit der gewünschten Rauigkeit geschaffen werden.

Bevorzugt ist das Dichtelement in radialer Richtung beweglich. Dadurch wird erreicht, daß das Dichtelement unter Fliehkrafteinwirkung sich in radialer Richtung von der Rotationsachse des Rotors entfernt. Diese Eigenschaft wird gezielt ausgenutzt, um eine deutlich verbesserte Dichtwirkung an der Schaufelplattform einer Laufschaufel zu erzielen. Das Dichtelement kommt dabei unter Fliehkrafteinwirkung in Kontakt zu den radial von der Umfangsfläche beabstandeten, in Umfangsrichtung zueinander benachbarten, Schaufelplattformen und wird fest an die Schaufelplattformen angedrückt. Die radiale Beweglichkeit des Dichtelements kann durch entsprechende Dimensionierung der Ausnehmung und des Dichtelements sichergestellt werden. Von Vorteil ist weiterhin, daß dadurch das Dichtelement für eventuelle Wartungszwecke oder bei einem Versagen der Laufschaufel ohne zusätzliche Werkzeuge und ohne die Gefahr eines Verbackens des Dichtelements aufgrund eines oxidierenden oder korrosiven Angriffs bei hohen Betriebstemperaturen problemlos zu entfernen und gegebenenfalls auszutauschen ist. Darüber hinaus ist eine gewisse Toleranz des Dichtelements, welches in die Ausnehmung, insbesondere in die Nut, eingreift sehr nützlich, weil dadurch thermische Ausdehnungen zugelassen und somit thermisch induzierte Spannungen im Rotor vermieden werden.

Vorzugsweise umfaßt das Dichtelement ein erstes Teildichtelement und ein zweites Teildichtelement, wobei das erste Teildichtelement und das zweite Teildichtelement ineinandergreifen. Die Teildichtelemente können dabei so ausgestaltet sein, daß sie in besonderer Weise eine partielle Dichtfunktion für unterschiedliche abzudichtende Bereiche im Zwischenraum übernehmen. Solche unterschiedlichen Bereiche im Zwischenraum werden etwa durch geeignete Dichtflächen am Nutgrund, an der Schaufelplattform der ersten Laufschaufel oder an der Schaufelplattform der zweiten Laufschaufel gebildet. Die Teildichtelemente ergänzen sich durch ihre Anordnung zu einem Paar aus Teildichtelementen zu einem Dichtelement, wobei die Dichtwirkung des Paares größer ist als die eines Teildichte-

ments. Durch eine besonders angepaßte Ausgestaltung der Teildichte-
elemente an die jeweils abzudichtenden Bereiche im Zwischenraum gelingt es, daß die Dichtwirkung der gepaarten
Teildichteelemente größer ist als sie etwa mit einem einstück-
5 kigen Dichteelement realisierbar ist.

Vorzugsweise sind das erste Teildichteelement und das zweite
Teildichteelement relativ zueinander in Umfangsrichtung beweg-
lich. Dadurch wird ein angepaßtes System aus Teildichtelemen-
10 ten bereitgestellt. Die relative Bewegung der Teildichte-
elemente in Umfangsrichtung ermöglicht ein angepaßtes Ineinan-
dergreifen der Teildichteelemente, abhängig von der thermi-
schen und/oder mechanischen Belastung des Rotors. Das ange-
paßte System aus Teildichteelementen kann dabei so ausgeführt
15 sein, daß es unter der Wirkung der externen Kräfte, wie z.B.
der Fliehkraft sowie der Normal- und Lagerkräfte, sich gewis-
sermaßen selbst justiert, um seine Dichtwirkung zu entfalten.
Weiterhin werden mögliche thermisch oder mechanisch indu-
zierte Spannungen durch das bewegliche Paar aus Teildichte-
20 menten deutlich besser ausgeglichen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung weisen das erste Teil-
dichteelement und das zweite Teildichteelement jeweils eine an
die Umfangsfläche angrenzende Scheibendichtkante und eine an
25 die Schaufelplattform angrenzende Plattformdichtkante auf.
Dabei kann die jeweilige Plattformdichtkante weiter in Platt-
formteildichtkanten funktional untergliedert sein. Beispiels-
weise kann bei einem Teildichteelement eine erste Plattform-
teildichtkante sowie eine zweite Plattformteildichtkante vor-
30 gesehen sein, wobei die erste Plattformteildichtkante an die
Schaufelplattform der ersten Laufschaufel und die zweite
Plattformteildichtkante an die Schaufelplattform der zweiten
Laufschaufel angrenzt. Durch diese funktionale Unterglieder-
ung ist eine einfache konstruktive Anpassung der Teildicht-
35 elemente an die jeweilige Einbaugeometrie der ersten und
zweiten Laufschaufel in der Aufnehmstruktur möglich. Durch
entsprechende Ausgestaltung des Teildichtelements wird er-

reicht, daß die Scheibendichtkante gegen die Umfangsfläche abdichtet sowie die Plattformdichtkante gegen die Schaufelplattform der Laufschaufel abdichtet, wobei ein möglichst guter Formschluß hergestellt ist.

5

Mit der gepaarten Anordnung des ersten und des zweiten Teildichtelements zu einem Dichtelement wird eine besonders wirksame Dichtung erzielt. Vorzugsweise überlappen sich das erste und das zweite Teildichtelement, wobei die Plattformdichtkante und die Scheibendichtkante des ersten Teildichtelements an die Plattformdichtkante bzw. Scheibendichtkante des zweiten Teildichtelements angrenzt. Dadurch wird in der gepaarten Anordnung der beiden Teildichtelemente ein guter Formschluß realisiert und folglich durch das Dichtelement eine gute Abdichtung gegen Eindringen von heißem Aktionsfluid in den Zwischenraum und/oder ein Austreten von Kühlmittel in den Strömungskanal erreicht.

Bevorzugt ist das Dichtelement aus einem hochwarmfesten Material, insbesondere aus einer Nickelbasis- oder Kobaltbasislegierung, hergestellt. Diese Legierungen besitzen weiterhin ausreichende elastische Verformungseigenschaften. Somit wird erreicht, daß das Material des Dichtelements zur Vermeidung von Verunreinigungen oder Diffusionsschäden und zur Gewährleistung einer gleichmäßigen thermischen Ausdehnung des Rotors, insbesondere der Schaufelplattform der Laufschaufel, an das Material des Rotors angepaßt ausgewählt wird.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist in der Strömungsmaschine mit dem sich entlang einer Rotationsachse erstreckenden Rotor die Aufnehmstruktur durch eine Umfangsnut hergestellt, wobei die Umfangsfläche eine erste Umfangsfläche und eine entlang der Rotationsachse der ersten Umfangsfläche gegenüberliegende zweite Umfangsfläche aufweist, welche jeweils axial an die Umfangsnut angrenzt, wobei auf der ersten und/oder auf der zweiten Umfangsfläche in dem Zwischenraum das Dichtsystem vorgesehen ist.

Die Befestigung der Laufschaufeln muß im Betrieb der Strömungsmaschine die Schaufelbeanspruchungen durch Strömungs- und Fliehkräfte sowie durch Schaufelschwingungen mit hoher Sicherheit aufnehmen und die auftretenden Kräfte auf die Laufscheibe und schließlich den gesamten Rotor übertragen. Neben der Befestigung der Laufschaufel in einer Axialnut ist die Laufschaufelbefestigung in einer Umfangsnut weit verbreitet, vor allem bei geringen und mittleren Beanspruchungen. Dabei sind je nach Beanspruchung verschiedene Ausgestaltungen bekannt (vgl. I. Kosmorowski und G. Schramm, „Turbo Maschinen“, ISBN 3-7785-1642-6, Ausgabe des Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg, 1989, S.113-117) Für kurze Laufschaufeln mit kleinen Fliehkräften und Biegemomenten wird zum Beispiel die einfach zu fertigende sogenannte Hammerkopfverbindung eingesetzt. Bei längeren Laufschaufeln und damit größeren Schaufelfliehkräften muß bei Rotoren in Scheibenbauweise durch besondere konstruktive Maßnahmen ein Aufbiegen der Laufscheibe im Bereich der ersten und zweiten Umfangsfläche in Höhe der Umfangsnut verhindert werden. Das kann beispielsweise erfolgen mit Hilfe einer in Höhe der Umfangsnut massiver ausgeführten Laufscheibe, eines verhakten Hammerkopffußes oder eines verhakten Reiterfußes. Eine günstigere Kraftübertragung an die Laufscheibe wird jedoch z.B. durch die Umfangstannenbaumbefestigung erreicht. Das angegebene Konzept zur Dichtung des Zwischenraums ist in jedem Fall sehr flexibel auch auf einen Rotor übertragbar, dessen Laufschaufel in einer Umfangsnut befestigt ist.

Vorzugsweise ist die Strömungsmaschine eine Gasturbine.

Die Erfindung wird beispielhaft im folgenden anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen teilweise schematisch und vereinfacht:

FIG 1 einen Halbschnitt durch eine Gasturbine mit Verdichter, Brennkammer und Turbine,

- FIG 2 eine perspektivische Ansicht eines Ausschnitts einer Laufscheibe eines Rotors,
- 5 FIG 3 eine perspektivische Ansicht eines Ausschnitts einer Laufscheibe mit eingesetzter Laufschaufel,
- FIG 4 eine Seitenansicht einer Laufschaufel mit Dichtsystem,
- 10 FIG 5A-5D verschiedene Ansichten eines ersten Teildichtelements eines in Figur 4 dargestellten Dichtelements,
- FIG 6A-6D verschiedene Ansichten eines zweiten Teildichtelements eines in Figur 4 dargestellten Dichtelements,
- 15 FIG 7 eine axiale Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Rotors mit Dichtelement,
- 20 FIG 8 eine axiale Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Rotors mit einer gegenüber Figur 7 alternativen Ausgestaltung des Dichtelements,
- FIG 9 eine Seitenansicht einer Laufschaufel mit einem Labyrinthdichtsystem,
- 25 FIG 10 eine Seitenansicht einer Laufschaufel mit einer gegenüber Figur 9 alternativen Ausgestaltung des Labyrinthdichtsystems,
- 30 FIG 11 eine perspektivische Ansicht eines Ausschnitts einer Laufscheibe mit eingesetzter Laufschaufel und mit einem Spaltdichtelement,
- FIG 12 einen Ausschnitt einer Ansicht der in Figur 11 gezeigten Anordnung entlang der Schnittlinie XII-XII,
- 35

FIG 13 eine perspektivische Ansicht einer Rotorwelle mit Umfangsnuten,

FIG 14 eine Schnittansicht eines Ausschnitts eines Rotors mit Umfangsnut und mit eingesetzter Laufschaufel,

FIG 15 eine Schnittansicht eines Ausschnitts eines Rotors mit gegenüber Figur 14 alternativer Ausgestaltung der Laufschaufelbefestigung.

Gleiche Bezugszeichen haben in den einzelnen Figuren die gleiche Bedeutung.

In Figur 1 ist ein Halbschnitt durch eine Gasturbine 1 dargestellt. Die Gasturbine 1 weist einen Verdichter 3 für Verbrennungsluft, eine Brennkammer 5 mit Brennern 7 für einen flüssigen oder gasförmigen Brennstoff sowie eine Turbine 9 zum Antrieb des Verdichters 3 und eines in Figur 1 nicht dargestellten Generators auf. In der Turbine 9 sind feststehende Leitschaufeln 11 und rotierbare Laufschaufeln 13 auf jeweiligen sich radial erstreckenden, im Halbschnitt nicht gezeigten, Kränzen entlang der Rotationsachse 15 der Gasturbine 1 angeordnet. Dabei wird ein entlang der Rotationsachse 15 aufeinanderfolgendes Paar aus einem Kranz von Leitschaufeln 11 (Leitschaufelkranz) und einem Kranz von Laufschaufeln 13 (Laufschaufelkranz) als Turbinenstufe bezeichnet. Jede Leitschaufel 11 weist eine Schaufelplattform 17 auf, welche zur Fixierung der betreffenden Leitschaufel 11 am inneren Turbinengehäuse 19 angeordnet ist. Die Schaufelplattform 17 stellt dabei ein Wandelement in der Turbine 9 dar. Die Schaufelplattform 17 ist ein thermisch stark belastetes Bauteil, welches die äußere Begrenzung des Strömungskanals 21 in der Turbine 9 bildet. Die Laufschaufel 13 ist auf dem entlang der Rotationsachse 15 der Gasturbine 1 angeordneten Turbinenläufer 23 über eine entsprechende Schaufelplattform 17 befestigt. Der Turbinenläufer 23 kann dabei z.B. aus mehreren, in Figur 1 nicht gezeigten, die Laufschaufeln 13 aufnehmende

Laufscheiben zusammengebaut sein, die von einem nicht dargestellten Zuganker zusammengehalten und mittels Hirthverzahnung wärmedehnungstolerant auf die Rotationsachse 15 zentriert sind. Der Turbinenläufer 23 bildet zusammen mit den

5 Laufschaufeln 13 den Rotor 25 der Strömungsmaschine 1, insbesondere der Gasturbine 1. Im Betrieb der Gasturbine 1 wird Luft L aus der Umgebung angesaugt. Die Luft L wird im Verdichter 3 verdichtet und dadurch gleichzeitig vorgewärmt. In der Brennkammer 5 wird die Luft L mit dem flüssigen oder gasförmigen Brennstoff zusammengebracht und verbrannt. Ein zuvor

10 dem Verdichter 3 aus geeigneten Entnahmen 27 entnommener Teil der Luft L dient als Kühlluft K zur Kühlung der Turbinenstufen, wobei z.B. die erste Turbinenstufe mit einer Turbineneintrittstemperatur von etwa 750 °C bis 1200 °C beaufschlagt

15 wird. In der Turbine 9 erfolgt eine Entspannung und Abkühlung des heißen Aktionsfluid A, im folgenden als Heißgas A bezeichnet, welches durch die Turbinenstufen strömt und dabei den Rotor 25 in Rotation versetzt.

20 Figur 2 zeigt in einer perspektivischen Ansicht einen Ausschnitt einer Laufscheibe 29 eines Rotors 25. Die Laufscheibe 29 ist entlang der Rotationsachse 15 des Rotors 25 zentriert. Die Laufscheibe 29 weist eine Aufnehmstruktur 33 zur Befestigung von Laufschaufeln 13 der Gasturbine 1 auf. Die Aufnehmstruktur 33 ist durch Ausnehmungen 35, insbesondere durch Nuten,

25 in der Laufscheibe 29 hergestellt. Die Ausnehmung 35 ist dabei als axiale Laufscheibennut 37, insbesondere als axiale Tannenbaumnut, ausgeführt. Die Laufscheibe 29 weist eine Umfangsfläche 31 auf, die am äußeren radialen Ende der Laufscheibe 29 angeordnet ist. Auf der Umfangsfläche 31 sind ein

30 erster Umfangsflächenrand 39A und ein zweiter Umfangsflächenrand 39B gebildet. Dabei liegt der erste Umfangsflächenrand 39A entlang der Rotationsachse 15 dem zweiten Umfangsflächenrand 39B auf der Umfangsfläche 31 gegenüber. Auf der Umfangsfläche 31 ist ein Umfangsflächenmittenbereich 41 gebildet,

35 der in axialer Richtung von dem ersten Umfangsflächenrand 39A und dem zweiten Umfangsflächenrand 39B berandet ist.

Eine perspektivische Ansicht eines Ausschnitts einer Laufscheibe 29 mit eingesetzter Laufschaufel 13A ist in Figur 3 dargestellt. Die Laufscheibe 29 besitzt über ihren vollen Umfang, zu ihrer Umfangsfläche 31 hin offene Laufscheibennuten 37A, 37B, die im wesentlichen parallel zur Rotationsachse 15 des Rotors 25 verlaufen, jedoch auch schräg dazu gestellt sein können. Die Laufscheibennuten 37A, 37B sind mit Hinter-
5 schneidungen 59 ausgestattet. In eine Laufscheibennut 37A ist eine Laufschaufel 13A mit ihrem Schaufelfuß 43A entlang der Einsatzrichtung 57 der Laufscheibennut 37A eingesetzt. Der Schaufelfuß 43A stützt sich mit Längsrippen 61 an den Hinter-
10 schneidungen 59 der Laufscheibennut 37A ab. Auf diese Weise ist die Laufschaufel 13A bei Rotation der Laufscheibe 29 um die Rotationsachse 15 entgegen den in Richtung der Längsachse 47 der Laufschaufel 13A auftretenden Fliehkräfte sicher gehalten. Radial auswärts entlang der Längsachse 47 des Schaufelfußes 43A besitzt die Laufschaufel 13A einen verbreitert ausgebildeten Bereich, die sogenannte Schaufelplattform 17A.
15 Die Schaufelplattform 17A weist eine scheibenseitige Basis 63 und eine der scheibenseitigen Basis 63 gegenüberliegende Außenseite 65 auf. An der Außenseite 65 der Schaufelplattform 17A befindet sich ein Schaufelblatt 45 der Laufschaufel 13A. An dem Schaufelblatt 45 strömt das zum Betrieb des Rotors 25 benötigte Heißgas A vorbei und erzeugt dabei ein Drehmoment auf die Laufscheibe 29. Bei hohen Betriebstemperaturen des Rotors 25 benötigt das Schaufelblatt 45 der Laufschaufel 13A ein Innenkühlungssystem, welches in der Figur 3 nicht dargestellt ist. Dabei wird ein Kühlmittel K, beispielsweise Kühlluft K, durch eine nicht dargestellte Zuleitung durch die
25 Laufscheibe 29 in den Schaufelfuß 43A der Laufschaufel 13A geleitet und von dort aus zu geeigneten, ebenfalls in der Figur 3 nicht gezeigten, Versorgungsleitungen des Innenkühlungssystems. Um ein frühzeitiges Austreten des Kühlmittels K, insbesondere der Kühlluft K im Bereich des Schaufelfußes 43A und der Schaufelplattform 17 zu verhindern, ist ein Dichtsystem 51 vorgesehen. Das Dichtsystem 51 ist auf der Umfangs-
30
35

fläche 31 auf dem zweiten Umfangsflächenrand 39B angeordnet. Das Dichtsystem 51 weist ein sich in Umfangsrichtung der Laufscheibe 29 erstreckendes Dichtelement 53 auf. Ein weiteres Dichtelement 55 ist vorgesehen und erstreckt sich in Umfangsrichtung der Laufscheibe 29 axial beabstandet zu dem Dichtelement 53. Das Dichtelement 53 und das weitere Dichtelement 55 greifen jeweils in einer Ausnehmung 35, insbesondere in eine Nut, in der Umfangsfläche 31 ein. Das Dichtsystem 51 dichtet den Zwischenraum 49 ab, der zwischen der Schaufelplattform 17A der Laufschaufel 13A und einer Schaufelplattform 17B einer zweiten Laufschaufel 13B, welche gestrichelt dargestellt und in eine zweite Laufscheibennut 37B, die in Umfangsrichtung der Laufscheibe 29 zur ersten Laufscheibennut 37A beabstandet ist, eingesetzt ist, und der Umfangsfläche 31 gebildet ist. Hierdurch wird weitgehend verhindert, daß das Heißgas A axial über den zweiten Umfangsflächenrand 39B in den Zwischenraum 49 gelangt und die Laufschaufel 13A, 13B im Bereich des Schaufelfußes 43A, 43B oder der Schaufelplattform 17A, 17B beschädigt wird. Ferner wird ein Austritt von Kühlmittel K aus dem Zwischenraum 49 axial entlang der Umfangsfläche 31 über den zweiten Umfangsflächenrand 39B verhindert.

Figur 4 zeigt eine Seitenansicht einer Laufschaufel 13 mit Dichtsystem 51. Das Dichtsystem 51 ist als Teilschnitt in der Figur 4 veranschaulicht. Das Dichtsystem 51 ist auf dem ersten Umfangsflächenrand 39A und auf dem zweiten Umfangsflächenrand 39B in den Zwischenraum 49 angeordnet. Bezogen auf die Strömungsrichtung des Heißgases A befindet sich der erste Umfangsflächenrand 39A stromaufwärts auf der Umfangsfläche 31 der Laufscheibe 29 und der zweite Umfangsflächenrand 39B stromabwärts. Die Anordnung des Dichtsystems 51 auf dem ersten, stromaufwärts angeordneten, Umfangsflächenrand 39A begrenzt in erster Linie den Eintritt von strömendem Heißgas A in den Zwischenraum 49. Dadurch wird eine Beschädigung der Laufschaufel 13 sowie der Laufscheibe 29 im Bereich der Umfangsfläche 31 verhindert. Die Anordnung des Dichtsystems 51

auf dem zweiten, stromabwärts angeordneten, Umfangsflächenrand 39B dient vorwiegend dazu, den Austritt eines Kühlmittels K, z.B. unter einem bestimmten Druck stehende Kühlluft K im Zwischenraum 49, in axialer Richtung entlang der Umfangsfläche 31 über den zweiten Umfangsflächenrand 39B in den Strömungskanal möglichst effizient zu unterbinden. Im Betrieb des Rotors 25 entspannt sich das Heißgas A in Strömungsrichtung. Dadurch wird der Druck des Heißgases A in Strömungsrichtung kontinuierlich abgebaut. Ein unter einem gewissen Druck stehendes Kühlmittel K im Zwischenraum 49 wird daher in Richtung des geringeren Umgebungsdruckes aus dem Zwischenraum 49 austreten, also am stromabwärts angeordneten zweiten Umfangsflächenrand 49B. Das Dichtsystem 51 auf dem ersten Umfangsflächenrand 39A und auf den zweiten Umfangsflächenrand 39B dichtet den Zwischenraum 49 nach beiden Richtungen ab. Diese Ausgestaltung bietet daher eine große Sicherheit sowohl gegenüber dem Eintritt von Heißgas A in den Zwischenraum 49 als auch gegenüber dem Austritt von Kühlmittel K aus dem Zwischenraum 49.

Auf den ersten Umfangsflächenrand 39A weist das Dichtsystem 51 ein Dichtelement 53, welches sich in Umfangsrichtung der Laufscheibe 29 erstreckt, auf. Das Dichtelement 53 greift dabei in eine Ausnehmung 35, insbesondere in eine Nut, welche in die Umfangsfläche 31 eingearbeitet ist. Am zweiten Umfangsflächenrand 39B weist das Dichtsystem 51 ein Dichtelement 53 auf, welches sich in Umfangsrichtung erstreckt. Ein weiteres Dichtelement 55 ist auf den zweiten Umfangsflächenrand 39B vorgesehen. Das weitere Dichtelement 55 erstreckt sich in Umfangsrichtung der Laufscheibe 29 und ist axial beabstandet zu dem Dichtelement 53 angeordnet.

Die Ausgestaltung des Dichtsystems 51 durch eines oder mehrere Dichtelemente 53, 55 eignet sich besonders gut dazu, um im Zwischenraum 49 mögliche axiale Leakageströme an Kühlmittel K und/oder an Heißgas A mit gesteigerter Effizienz zu behindern. So wird der Eintritt eines stromaufwärts gerichteter

axialer Leakagestrom, z.B. des Heißgases A aus dem Strömungskanal einer Gasturbine 1, der über den ersten Umfangsflächenrand 39A entlang der Umfangsfläche 31 in den Zwischenraum 49 einströmt, durch das auf dem ersten Umfangsflächenrand 39 angeordnete Dichtsystem 51 wirkungsvoll behindert. Zugleich wird das Auftreten einer axialen Leakageströmung, die aus dem Zwischenraum 49 heraus entlang dem zweiten Umfangsflächenrand 39B gerichtet ist, durch das Hindernis in Form der Dichtelemente 53, 55 zuverlässig verhindert.

10

Durch diese Mehrfachanordnung von Dichtelementen 53, 55 werden mögliche Leakageströme im Zwischenraum 49 erheblich reduziert. Der abgedichtete Zwischenraum 49 ist somit gut nutzbar für ein Kühlmittel K, z.B. Kühlluft K. Dieses kann unter Druck gesetzt werden und dann für eine effiziente Innenkühlung des thermisch hochbelasteten Rotors 25, insbesondere der Schaufelplattform 17 und des entlang der Längsachse 47 an die Schaufelplattform angrenzenden Schaufelblatts 45, verwendet werden. Eine weitere vorteilhafte Verwendung des unter Druck stehenden Kühlmittels K im Zwischenraum 49 ist in der Sperrwirkung gegenüber dem Heißgas A im Strömungskanal gegeben. Durch diese Sperrwirkung des Kühlmittels K ist der Eintritt von Heißgas A in den Zwischenraum 49 weitgehend unterbunden.

25

Die Dichtelemente 53, 55 sind jeweils in radialer Richtung beweglich in der Ausnehmung 35 angeordnet, so daß im Betrieb des Rotors 25 infolge der Einwirkung der Fliehkraft auf die Dichtelemente 53, 55 eine gegenüber herkömmlichen Ausgestaltungen verbesserte Dichtwirkung erreicht ist. Unter Wirkung der Fliehkraft werden die Dichtelemente 53, 55 sich parallel zur Längsachse 47 radial auswärts bewegen. Dabei wird die scheibenseitige Basis 63 der Schaufelplattform 17 gegenüber möglichen axialen Leakageströmen aus dem Zwischenraum 49 heraus oder in den Zwischenraum 49 hinein sehr wirkungsvoll abgedichtet. Die radiale Beweglichkeit der Dichtelemente 53, 55 kann durch entsprechende Ausgestaltung der Ausnehmung 35 und der Dichtelemente 53, 55 sichergestellt werden. Dadurch sind

30

35

die Dichtelemente 53, 55 auch für eventuelle Wartungszwecke oder bei einem Versagen der Laufschaufel 13 ohne zusätzliche Werkzeuge und ohne die Gefahr eines Verbackens des Dichtelements 53 aufgrund eines oxidierenden oder korrosiven Angriffs bei hohen Betriebstemperaturen problemlos zu entfernen und gegebenenfalls auszutauschen.

Weiterhin ist eine gewisse Toleranz der Dichtelemente 53, 55, welche jeweils in eine Ausnehmung 35, insbesondere in eine Nut, eingreifen, sehr vorteilhaft. Es werden thermische Ausdehnungen zugelassen und dadurch thermisch induzierte Spannungen vermieden. Das Dichtelement 53, 55 weist ein erstes Teildichtelement 67A und ein zweites Teildichtelement 67B auf. Das erste Teildichtelement 67A und das zweite Teildichtelement 67B greifen dabei ineinander. Die Teildichtelemente 67A, 67B ergänzen sich durch ihre gepaarte Anordnung zu einem Dichtelement 53, 55 in besonderer Weise, wobei die erzielte Dichtwirkung der gepaarten Teildichtelemente 67A, 67B größer ist als die eines einzelnen Teildichtelements 67A, 67B. Durch eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Teildichtelemente 67A, 67B an die jeweils abzudichtenden Bereiche im Zwischenraum 49 wird sichergestellt, daß die erzielte Dichtwirkung der gepaarten Anordnung größer ist als sie etwa mit einem einstückigen Dichtelement 53 realisierbar wäre. Eine mögliche, besonders vorteilhafte, Ausgestaltung der Teildichtelemente 67A, 67B wird im folgenden anhand der Figuren 5A bis 5D sowie der Figuren 6A bis 6D vorgestellt.

Das in Figur 4 gezeigte Dichtelement 53, 55 ist in einer bevorzugten Ausgestaltung aus zwei ineinandergreifenden Teildichtelementen 67A, 67B zusammengesetzt. In den Figuren 5A bis 5D ist das erste Teildichtelement 67A in verschiedenen Ansichten dargestellt:

Figur 5A zeigt eine perspektivische Ansicht des ersten Teildichtelements 67A. Das erste Teildichtelement 67A weist eine Scheibendichtkante 69 auf, sowie eine der Scheibendichtkante

69 gegenüberliegende Plattformdichtkante 71. Im eingebauten Zustand des Teildichtelements 67A grenzt die Scheibendichtkante 69 an die Umfangsfläche 31, sowie die Plattformdichtkante 71 an die scheibenseitige Basis 63 der Schaufelplattform 17. Figur 5B zeigt eine Ansicht auf die Scheibendichtkante 71 des ersten Teildichtelements 67A, Figur 5C eine Draufsicht auf das erste Teildichtelement 67A und Figur 5D eine Seitenansicht. Die Plattformdichtkante 71 weist eine erste Plattformteildichtkante 71A sowie eine zweite Plattformteildichtkante 71B auf. Diese Unterteilung der Plattformdichtkante 71 in zwei Plattformteildichtkanten 71A, 71B ermöglicht eine einfache konstruktive Anpassung des ersten Teildichtelements 67A an die jeweilige Einbaugeometrie einer Laufschaufel 13 und einer weiteren Laufschaufel 13B in eine Laufscheibe 29 (vgl. Figur 3 und Figur 4).

In entsprechender Weise ist das zweite Teildichtelement 67B ausgestaltet. In den Figuren 6A bis 6D sind verschiedene Ansichten des zweiten Teildichtelements 67B eines in Figur 4 dargestellten Dichtelementes 53 gezeigt. Analog wie das erste Teildichtelement 67A weist das zweite Teildichtelement 67B eine Scheibendichtkante 69 sowie eine der Scheibendichtkante 69 gegenüberliegende Plattformdichtkante 71 auf. Dabei ist die Plattformdichtkante 71 weiter in Plattformteildichtkanten 71A, 71B funktional untergliedert. Es ist eine erste Plattformteildichtkante 71A sowie eine zweite Plattformteildichtkante 71B vorgesehen. Jedes der Teildichtelemente 67A, 67B ist dabei so ausgestaltet, daß sein jeweiliger Massenschwerpunkt benachbart zu genau einer der dem betreffenden Teildichtelement 67A, 67B zugeordneten Plattformteildichtkanten 71A, 71B angeordnet ist. Dies wird durch eine gestufte konstruktive Ausgestaltung jedes der Teildichtelemente 67A, 67B mit einem Bereich kleinerer Materialstärke und mit einem Bereich größerer Materialstärke erreicht, wobei jeder Bereich genau einer Plattformteildichtkante 71A, 71B zugeordnet ist.

Durch diese Ausgestaltung der Teildichtelemente 67A, 67B wird erreicht, daß die Scheibendichtkante 69 gut gegen die Umfangsfläche 31 abdichtet und die Plattformdichtkante 71, respektive jede der Plattformteildichtkanten 71A, 71B, gegen die Schaufelplattform 17 der Laufschaufel 13 abdichtet, wobei ein Formschluß und eine verbesserte mechanische Stabilität hergestellt ist. Das erste Teildichtelement 67A und das zweite Teildichtelement 67B werden zu einem Dichtelement 53 gepaart angeordnet. Dadurch wird eine sehr effiziente Dichtung erzielt. Die Teildichtelemente 67A, 67B sind so ausgestaltet, daß sie im eingebauten Zustand ineinandergreifen und sich überlappen, wobei die Plattformdichtkante 71 und die Scheibendichtkante 69 des ersten Teildichtelements 67A an die Plattformdichtkante 71 bzw. Scheibendichtkante 69 des zweiten Teildichtelements 67B angrenzt. Die Teildichtelemente 67A, 67B werden dabei so angeordnet, daß Bereiche mit jeweils unterschiedlicher Materialstärke in Kontakt zueinander kommen. Mit der gepaarten Anordnung der beiden Teildichtelemente 67A, 67B ist somit ein sehr guter Formschluß hergestellt und folglich durch das Dichtelement 53 eine gute Abdichtung gegen Eindringen von Heißgas A in den Zwischenraum 49 und/oder ein Austreten von Kühlmittel K in den Strömungskanal erreicht (vgl. Figur 4). Die Teildichtelemente 67A, 67B sind beispielsweise als metallische Dichtbleche ausgestaltet. Dabei wird ein Material gewählt, welches hochwarmfest ist und ausreichende elastische Verformungseigenschaften aufweist. Als geeignetes Material kommt beispielsweise eine Nickelbasis- oder Kobaltbasislegierung in Frage. Somit ist sichergestellt, daß das Material der Teildichtelemente 67A, 67B angepaßt an das Material des Rotors 25 ausgewählt wird. Verunreinigungen oder Diffusionsschäden werden dadurch vermieden und eine gleichmäßige weitgehend spannungsfreie thermische Ausdehnung des Rotors 25 ist möglich.

Figur 7 zeigt eine axiale Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Rotors 25 mit einem Dichtelement 53. Der Rotor 25 weist eine Laufscheibe 29 auf. Die Laufscheibe 29 weist eine erste

Laufscheibennut 37A sowie eine in Umfangsrichtung der Laufscheibe 29 zur ersten Laufscheibennut 37A beabstandete zweite Laufscheibennut 37B auf. In die Laufscheibe 29 ist eine erste Laufschaufel 13A sowie eine zweite Laufschaufel 13B eingesetzt, wobei der Schaufelfuß 43A der ersten Laufschaufel 13A in die Laufscheibennut 37A eingesetzt ist und der Schaufelfuß 43B der zweiten Laufschaufel 13B in die zweite Laufscheibennut 37B eingreift. Dabei grenzt die Schaufelplattform 17A der ersten Laufschaufel 13A an die Schaufelplattform 17B der zweiten Laufschaufel 13B an und zwischen den Schaufelplattformen 17A, 17B und der Umfangsfläche 31 ist ein Zwischenraum 49 gebildet. Auf der Umfangsfläche 31 ist in dem Zwischenraum 49 ein Dichtelement 53 vorgesehen. Das Dichtelement 53 weist eine Scheibendichtkante 69 sowie eine der Scheibendichtkante 69 gegenüberliegende erste Plattformteildichtkante 71A und eine zweite Plattformteildichtkante 71B auf. Das Dichtelement 53 ist in eine Ausnehmung 35, insbesondere in eine Nut in der Umfangsfläche 31 eingesetzt. Dabei grenzt die Scheibendichtkante 69 an die Umfangsfläche 31 an. Die erste Plattformteildichtkante 71A grenzt an die scheibenseitige Basis 63 der ersten Schaufelplattform 17A an, sowie die zweite Plattformteildichtkante 71B an die scheibenseitige Basis 63 der zweiten Schaufelplattform 17B. Das Dichtelement 53 kann dabei durch zwei ineinandergreifende, in radialer Richtung und in Umfangsrichtung bewegliche, gepaarte Teildichtelemente 67A, 67B, wie in den Figuren 5A bis 5D sowie in den Figuren 6A bis 6D erläutert, hergestellt sein. Dadurch wird eine besonders effiziente Abdichtung des Zwischenraums 49 ermöglicht. Insbesondere werden axial gerichtete Leckageströme aus dem Zwischenraum 49 heraus oder in den Zwischenraum 49 hinein wirkungsvoll behindert. Bei Rotation des Rotors 25 wird hierbei das Dichtelement 53 unter Fliehkrafteinwirkung sich parallel zur Längsachse 47 radial auswärts von der Rotationsachse 15 des Rotors 25 entfernen. Dieser Effekt wird ausgenutzt, um eine deutlich verbesserte Dichtwirkung an den aneinander grenzenden Schaufelplattformen 17A, 17B der benachbarten Laufschaufeln 13A, 13B zu erzielen. Das Dichtelement 53, re-

spektive jedes der in der Figur 7 nicht dargestellten gepaarten Teildichtelemente 67A, 67B (vgl. Figuren 5A-5D sowie 6A-6D), kommt dabei unter Fliehkrafteinwirkung in Kontakt zu den radial von der Umfangsfläche 31 beabstandeten, in Umfangsrichtung zueinander benachbarten Schaufelplattformen 17A, 17B und wird fest an deren scheibenseitige Basis 63 angedrückt.

Durch entsprechende Dimensionierung der Ausnehmung 35, insbesondere der Nut, sowie des Dichtelements 53 wird eine ausreichende radiale Beweglichkeit gewährleistet. Zusätzlich ist eine Beweglichkeit des Dichtelements 53 in Umfangsrichtung der Laufscheibe 29 vorgesehen. Das Dichtelement 53, insbesondere jedes der in der Figur 7 nicht dargestellten Teildichtelemente 67A, 67B (vgl. Figuren 5A-5D sowie Figuren 6A-6D), wird sich dann unter der Wirkung aller externen Kräfte, wie beispielsweise der Fliehkraft, sowie der Normal- und/oder Lagerkräfte selbst justieren um seine Dichtwirkung zu entfalten. Die Neigung der Plattformteildichtkanten 71A, 71B gegenüber der Längsachse 47 entspricht dabei der Neigung der scheibenseitigen Basis 63 der Schaufelplattformen 17A, 17B. Hierdurch wird ein guter Formschluß hergestellt und durch die Neigung gegenüber der Längsachse 47 eine für die Dichtung günstige Kräfteverteilung auf das Dichtelement 53 und die daran angrenzende scheibenseitige Basis 63 erreicht. Einbaubedingt kann zwischen den aneinander grenzenden Plattformen 17A, 17B ein Spalt 73 gebildet sein. Dieser Spalt 73 steht in Strömungsverbindung mit dem Zwischenraum 49 und kann gegebenenfalls durch ein einfaches Spaltdichtelement abgedichtet werden (vgl. Figur 11 und diesbezügliche Figurenbeschreibung).

Eine axiale Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Rotors 25 mit einer gegenüber Figur 7 alternativen Ausgestaltung des Dichtelements 53 ist in Figur 8 dargestellt. Die Schaufelplattform 17A der ersten Laufschaufel 13A ist gegenüber der daran angrenzenden Schaufelplattform 17B der zweiten Laufschaufel 13B in radialer Richtung versetzt. Ein derartiger

Versatz δ zwischen in Umfangsrichtung aneinander grenzenden Schaufelplattformen 17A, 17B tritt einbaubedingt im allgemeinen dann auf, wenn die Laufscheibennuten 37A, 37B gegenüber der Rotationsachse 15 des Rotors 25 geneigt sind. Das Dichtelement 53, respektive jedes der in der Figur 7 nicht dargestellten, zu dem Dichtelement 53 gepaart angeordneten Teildichtelemente 67A, 67B (vgl. Figuren 5A-5D sowie Figuren 6A-6D), ist mit einer Versatzdichtkante 75 ausgestattet, die dem Versatz δ formschlüssig abdichtet. Das angegebene Dichtkonzept ist somit durch entsprechender Ausgestaltung des Dichtelementes 53 flexibel auf verschiedene Rotorgeometrien und Einbaumaße anwendbar.

Figur 9 zeigt eine Seitenansicht einer Laufschaufel 13, die in einer Laufscheibe 29 eingesetzt ist, wobei in dem Zwischenraum 49 das Dichtsystem 51 auf dem Umfangsflächenmittenbereich 41 der Umfangsfläche 31 angeordnet ist. Das Dichtsystem 51 ist hierbei als Labyrinthdichtsystem 51A, insbesondere Labyrinthspaltdichtsystem 51A, ausgestaltet. Das Labyrinthspaltdichtsystem 51A ist durch mehrere in Umfangsrichtung der Laufscheibe 29 sich erstreckende und axial zueinander beabstandete Dichtelemente 53 auf dem Umfangsflächenmittenbereich 41 realisiert. Die einzelnen Dichtelemente 53 sind hierbei jeweils durch ein in die Umfangsfläche 41 eingestemmes Drosselblech 77A - 77E ausgeführt. Die Wirkungsweise des durch die verschiedenen Drosselbleche 77A - 77E hergestellten Labyrinthspaltdichtsystems 51A beruht auf einer möglichst effektiven Drosselung eines strömenden Heißgases A und/oder eines Kühlmittels K in dem Dichtsystem 51A und einer damit bewirkten weitgehenden Reduzierung eines axial gerichteten Leakagestroms durch den Zwischenraum 49. Das äußere radiale Ende 79 eines Drosselblechs 77A ist dabei von der scheibenseitigen Basis 63 der Schaufelplattform 17 durch einen Dichtspalt 81 beabstandet. Durch den Dichtspalt 81, wie er im allgemeinen bei Labyrinthspaltdichtungen 51A vorkommt, kann ein residualer Leakagestrom im Zwischenraum 49 auftreten. Durch entsprechende Ausgestaltung und Anordnung der Drossel-

bleche 77A - 77E des Labyrinthspaltdichtsystems 51A wird der residuale Leckagestrom auf ein vorgegebenes Maß begrenzt. Das Labyrinthspaltdichtsystem 51A hat gegenüber anderen möglichen Labyrinthdichtsystemen den Vorteil, daß durch die Dichtspalte 81 eine Toleranz gegenüber thermisch und/oder mechanisch induzierten Relativdehnungen im Rotor 25 erreicht ist.

Eine alternative Ausgestaltung des in Figur 9 gezeigten Dichtsystems 51 ist in Figur 10 dargestellt. Das Dichtsystem 51 ebenfalls als Labyrinthspaltdichtsystem 51A ausgeführt, wobei dieses hierbei einstückig, insbesondere durch Materialabtrag von der Laufscheibe 29, hergestellt ist. Das Labyrinthspaltdichtsystem 51A ist auf dem Umfangsflächenmittenbereich 41 der Laufscheibe 29 angeordnet. Das Labyrinthspaltdichtsystem 51A weist mehrere in Umfangsrichtung der Laufscheibe 29 sich erstreckende und axial zueinander beabstandete Dichtelemente 53 auf. Die Dichtelemente 53 sind durch vier aus dem Vollen der Laufscheibe 29 gedrehte Drosselbleche 77A - 77D hergestellt. Durch diese Herstellungsmethode wird kein zusätzliches Verbindungselement zwischen dem Labyrinthspaltdichtsystem 51A und der Umfangsfläche 31 benötigt. Auch verfahrenstechnisch ist dies eine kostengünstige Lösung. Darüber hinaus spielen thermisch induzierte Spannungen zwischen der Laufscheibe 29 und dem Labyrinthspaltdichtsystem 51A keine Rolle, da nur ein Werkstoff zur Verwendung kommt. Andere Ausgestaltungen des Dichtelements 53, etwa durch ein auf die Laufscheibe aufgeschweißtes Drosselblech 77A sind ebenfalls möglich. Das Dichtelement 53 weist an dessen äußerem radialen Ende 79 eine Dichtspitze 83, insbesondere eine Messerkante auf. Der Dichtspalt 81 kann durch die Zuschärfung des äußerem radialen Endes 79 des Dichtelements 53 auf ein möglichst geringes Maß reduziert werden. Residuale Leckageströme durch den Zwischenraum 49 werden so weiter herabgesetzt. Dabei kann auch eine Dichtspaltüberbrückung durchgeführt werden, indem die Dichtspitze 83 oder die Messerkante mit einem geringen Aufmaß gegenüber dem radialen Einbaumaß der Schaufelplattform 17 hergestellt wird. Durch ein Anstrei-

fen der Dichtspitze 83 oder der Messerkante an die scheiben-
seitige Basis 63 der Schaufelplattform 17 wird der Dichtspalt
81 beim Einsetzen der Laufschaufel in die Laufscheibe 29 dann
überbrückt. Auf diese Weise wird der Dichtspalt 81 praktisch
5 vollständig geschlossen, eine deutlich verbesserte Dichtwir-
kung erzielt und ein möglicher axialer Leakagestrom, etwa
durch das strömende Heißgas A oder durch ein Kühlmittel K, im
Zwischenraum 49 wird weiter vermindert.

10 Figur 11 zeigt eine perspektivische Ansicht eines Ausschnitts
einer Laufscheibe 29 mit eingesetzter Laufschaufel 13A, wobei
der Schaufelfuß 43A der Laufschaufel 13A in eine erste Lauf-
scheibennut 37A eingesetzt ist. Eine zweite Laufschaufel 13B,
welche gestrichelt dargestellt ist, ist mit ihrem Schaufelfuß
15 43B in eine zweite Laufscheibennut 37B eingesetzt und in Um-
fangsrichtung der Laufscheibe 29 benachbart zur Laufschaufel
13A angeordnet. Auf der Umfangsfläche 31 ist auf dem Umfangs-
flächenmittenbereich 41 das Dichtsystem 51, welches als Laby-
rinthspaltdichtsystem 51A ausgestaltet ist, angeordnet. Das
20 Dichtsystem 51A ist durch mehrere entlang der Rotationsachse
15 zueinander beabstandete und in Umfangsrichtung der Lauf-
scheibe 29 sich erstreckende Dichtelemente 53 hergestellt.
Zwischen der Schaufelplattform 17A der Laufschaufel 13A und
der Schaufelplattform 17B der zweiten Laufschaufel 13B ist
25 ein sich im wesentlichen axial erstreckender Spalt 73 gebil-
det, der in Strömungsverbindung mit dem Zwischenraum 49
steht. Zur Dichtung des Spalts 73 ist ein Spaltdichte-
element 85 vorgesehen. Das Spaltdichte-
element 85 ist in einfacher
Weise durch ein geeignetes Spaltdichtblech, welches eine
30 Spaltdichtkante 87 aufweist, realisiert. Die Spaltdichtkante
greift unter Fliehkrafteinwirkung in den Spalt 73 ein und
dichtet den Spalt 73 ab. Das Spaltdichte-
element 85 ist so im
Zwischenraum 49 angeordnet, daß es radial an das Dichtsystem
51, insbesondere an das Labyrinthspaltdichtsystem 51A, an-
35 grenzt. Durch das Spaltdichte-
element 85 wird weitgehend ver-
hindert, daß ein Leakagestrom durch den Spalt 73 auftritt.
Ein derartiger Leakagestrom durch den Spalt 73 ist im wesent-

lichen radial gerichtet und kann dabei sowohl von dem Zwischenraum 49 durch den Spalt 73 radial auswärts, als auch durch den Spalt 73 in den Zwischenraum 49 radial einwärts orientiert sein. Durch die in Umfangsrichtung der Laufscheibe 5 29 aneinander grenzenden Plattformen 17A, 17B der Laufschaufeln 13A, 13B ist ein Hohlraum 97 gebildet. Dieser schließt sich radial auswärts an den Spalt 73 an (Box-Design der Laufschaufel 13A, 13B). Hierbei verhindert das Spaltdichte-
10 ment 85 einerseits den möglichen Eintritt von Heißgas A von dem Zwischenraum 49 durch den Spalt 73 radial auswärts in den Hohlraum 97. Andererseits kann der durch das Spaltdichte-
15 ment 85 abgedichtete Hohlraum 97 mit einem Kühlmittel K, z.B. mit Kühlluft K, beaufschlagt werden. Das Kühlmittel K wird dem Hohlraum 97 unter Druck zugeführt und steht dort für eine
effiziente Innenkühlung der thermisch hochbelasteten Lauf-
20 schaufeln 13A, 13B oder für andere Kühlzwecke zur Verfügung. Weiterhin kann die Sperrwirkung eines unter Druck stehenden Kühlmittels K im Hohlraum 97 gegenüber dem Heißgas A im Strömungskanal ausgenutzt werden.

20

Um den hohen Temperaturen beim Betrieb des Rotors 25 standzuhalten, sowie möglichst beständig gegenüber den oxidierenden und korrosiven Eigenschaften des Heißgases A zu sein, ist das Spaltdichte-
25 ment 85 aus einem hochwarmfesten Material, insbesondere aus einer Nickelbasis - oder Kobaltbasislegierung hergestellt.

Figur 12 zeigt einen Ausschnitt einer Ansicht der in Figur 11 gezeigten Anordnung entlang der Schnittlinie XII-XII. Das
30 Spaltdichte-
ment 85 ist in dem Zwischenraum 49 angeordnet und grenzt radial auswärts an das Dichte-
ment 53. Im Betrieb des Rotors 25 wird das Spaltdichte-
ment 85 infolge der Rotation durch die radial auswärts entlang der Längsachse 47 ge-
richtete Fliehkraft fest gegen die scheibenseitige Basis 63
35 der aneinander grenzenden Plattformen 17A, 17B gedrückt, wobei die Spaltdichtkante 87 in den Spalt 73 eingreift und den Spalt 73 dadurch weitgehend verschließt. Durch die Kombina-

tion des Spaltdichtelements 85 mit dem Dichtsystem 51 auf der Umfangsfläche 41, insbesondere mit dem Labyrinthdichtsystem 51A (vgl. Figur 11), ist eine besonders effektive Abdichtung des Zwischenraums 49 gegenüber möglichen Leckageströmen von Heißgas A und/oder von Kühlmittel K erreicht. In dieser Kombination vermindert das Dichtsystem 51 im wesentlichen die axial gerichteten Leckageströme, während das Spaltdichtelement 85 im wesentlichen die radial gerichteten Leckageströme vermindert (vgl. Figur 11). Das Spaltdichtelement 85 und das Dichtsystem 51 ergänzen sich auf diese Weise sehr wirkungsvoll.

Neben der Befestigung einer Laufschaufel 13 in einer im wesentlichen axial gerichteten Laufscheibennut 37 einer Laufscheibe 29 sind auch andere Laufschaufelbefestigungen bekannt. Die Anwendung des angegebenen Dichtsystems auf alternative Laufschaufelbefestigungen ist im folgenden in den Figuren 13 bis 15 illustriert.

Figur 13 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Rotorwelle 89 eines Rotors 25, der sich entlang einer Rotationsachse 15 erstreckt. Eine Aufnehmstruktur 33 ist durch mehrere axial zueinander beabstandete Umfangsnuten 91, die sich über den vollen Umfang der Rotorwelle 89 erstrecken, und in die Umfangsfläche 31 eingearbeitet sind, hergestellt. Hierbei weist die Umfangsfläche 31 eine erste Umfangsfläche 93 und eine entlang der Rotationsachse 15 der ersten Umfangsfläche 93 gegenüberliegende zweite Umfangsfläche 95 auf. Die erste Umfangsfläche 93 und die zweite Umfangsfläche 95 grenzt jeweils axial an eine Umfangsnut 91 an.

In Figur 14 ist eine Schnittansicht eines Ausschnitts eines Rotors 25 mit Umfangsnut 91 und mit eingesetzter Laufschaufel 13 dargestellt. Die Umfangsnut 91 ist als Hammerkopfnut hergestellt, die den Schaufelfuß 43 aufnimmt. Für kurze Laufschaufeln 13 mit kleinen Fliehkräften und Biegemomenten wird diese Form der Schaufelbefestigung bevorzugt eingesetzt. Auf

der ersten Umfangsfläche 93 und auf der zweiten Umfangsfläche 95 ist jeweils ein Dichtelement 53 in dem Zwischenraum 49 vorgesehen. Das Dichtelement 53 erstreckt sich in Umfangsrichtung der Rotorwelle 89 und greift in eine Ausnehmung 35, insbesondere in eine Nut, in der Rotorwelle 89 ein. Das Dichtelement 53 ist radial beweglich in der Ausnehmung 35 angeordnet. Bei Rotation der Rotorwelle 89 um die Rotationsachse 15 wird das Dichtelement 53 unter Fliehkrafteinwirkung sich entlang der Längsachse 47 der Laufschaufel 13 radial auswärts bewegen und fest an die scheibenseitige Basis 63 der Schaufelplattform 17 angedrückt. Dadurch wird der Zwischenraum 49 abgedichtet. Das Dichtelement 53 kann dabei aus zwei ineinandergreifenden, in der Figur 14 nicht gezeigten, gepaarten Teildichtelementen 67A, 67B zusammengesetzt sein (vgl. Figur 4 sowie Figuren 5A-5D und 6A-6D).

Figur 15 zeigt eine Schnittansicht eines Ausschnitts eines Rotors 25 mit einer gegenüber Figur 14 alternativen Ausgestaltung der Laufschaufelbefestigung. Hierbei ist die Umfangsnut 91 durch eine sogenannte Umfangstannenbaumnut hergestellt. Der Schaufelfuß 43 der Laufschaufel 13 ist dementsprechend als Tannenbaumfuß hergestellt, der in die Umfangsnut 91, insbesondere in die Umfangstannenbaumnut, eingreift. Durch diese Art der Befestigung der Laufschaufel 13 ist bei Rotation des Rotors 25 um die Rotationsachse 15 eine sehr wirkungsvolle Kraftübertragung an die Rotorwelle 89 und ein besonders sicherer Halt erreicht. Analog zur Figur 14 ist jeweils auf der ersten Umfangsfläche 93 und auf der zweiten Umfangsfläche 95 in den Zwischenraum 49 ein Dichtelement 53 zur Abdichtung des Zwischenraums 49 vorgesehen.

Das angegebene Konzept zur Dichtung des Zwischenraums 49 ist in jedem Fall sehr flexibel auch auf einen Rotor 25 übertragbar, dessen Laufschaufel 13 in einer Umfangsnut 91 befestigt ist.

Patentansprüche

1. Strömungsmaschine (1), insbesondere eine Gasturbine, mit einem sich entlang einer Rotationsachse (15) erstreckenden Rotor (25), umfassend eine Umfangsfläche (31), die durch die äußere radiale Begrenzungsfläche des Rotors (25) und eine Aufnehmstruktur (33), sowie eine erste Laufschaufel (13A) und eine zweite Laufschaufel (13B), die jeweils einen Schaufelfuß (43A, 43B) und eine an den Schaufelfuß (43A, 43B) angrenzende Schaufelplattform (17A, 17B) aufweisen, wobei der Schaufelfuß (43A) der ersten Laufschaufel (13A) und der Schaufelfuß (43B) der zweiten Laufschaufel (13B) in die Aufnehmstruktur (33) eingesetzt sind, so daß die Schaufelplattform (17A) der ersten Laufschaufel (13A) und die Schaufelplattform (17B) der zweiten Laufschaufel (13B) aneinander grenzen, und wobei zwischen den Schaufelplattformen (17A, 17B) und der Umfangsfläche (31) ein Zwischenraum (49) gebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Umfangsfläche (31) in dem Zwischenraum (49) ein Dichtsystem (51) vorgesehen ist, wobei das Dichtsystem (51) zumindest ein Labyrinthdichtsystem (51A) aufweist.

2. Strömungsmaschine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (25) eine Laufscheibe (29) aufweist, die die Umfangsfläche (31) und die Aufnehmstruktur (33) umfaßt, wobei die Umfangsfläche (31) einen ersten Umfangsflächenrand (39A) und einen entlang der Rotationsachse (15) dem ersten Umfangsflächenrand (39A) gegenüberliegenden zweiten Umfangsflächenrand (39B) aufweist, wobei die Aufnehmstruktur (33) eine erste Laufscheibennut (37A) und eine in Umfangsrichtung der Laufscheibe (29) zur ersten Laufscheibennut (37A) beanstandete zweite Laufscheibennut (37B) aufweist, und wobei der Schaufelfuß (43A) der ersten Laufschaufel (13A) in die erste Laufscheibennut (37A) und der Schaufelfuß (43B) der zweiten

Laufschaufel (13B) in die zweite Laufscheibennut (37B) eingesetzt ist.

3. Strömungsmaschine (1) nach Anspruch 2,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß auf der Umfangsfläche (31) ein Umfangsflächenmittenbereich (41) gebildet ist, der in axialer Richtung von dem ersten Umfangsflächenrand (39A) und dem zweiten Umfangsflächenrand (39B) berandet ist, und daß das Dichtsystem (51) mit dem Labyrinth-
10 system (51A) zumindest teilweise auf dem Umfangsflächenmittenbereich (41) angeordnet ist.

4. Strömungsmaschine (1) nach Anspruch 1, 2 oder 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Dicht-
15 system (51) ein sich in Umfangsrichtung erstreckendes Dichtelement (53) aufweist.

5. Strömungsmaschine (1) nach Anspruch 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß mindestens
20 ein weiteres Dichtelement (55) vorgesehen ist, das sich in Umfangsrichtung erstreckt und axial beabstandet zu dem Dichtelement (53) angeordnet ist.

6. Strömungsmaschine (1) nach Anspruch 4 oder 5,
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Dichtelement (53) und/oder das weitere Dichtelement (55) an dessen äußerem radialen Ende (79) eine Dichtspitze (83), insbesondere eine Messerkante, aufweist.

7. Strömungsmaschine (1) nach Anspruch 4, 5 oder 6,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Labyrinthdichtsystem (51A) das Dichtelement (53) oder das weitere Dichtelement (55) umfaßt.

8. Strömungsmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Labyrinthdichtsystem (51A) als Labyrinthspaltdichtsystem
5 ausgestaltet ist.

9. Strömungsmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Labyrinthdichtsystem (51A) einstückig, insbesondere durch
10 Materialabtrag von der Laufscheibe (29), hergestellt ist.

10. Strömungsmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß ein Spaltdichte-
element (85) zur Dichtung eines im wesentlichen sich axial erstreckenden Spalts (73) vorgesehen ist, wobei der Spalt (73) zwischen der Schaufelplattform (17A) der ersten Laufschaufel (13A) und der Schaufelplattform (17B) der zweiten Laufschaufel (13B) gebildet ist und in Strömungsverbin-
20 dung mit dem Zwischenraum (49) steht.

11. Strömungsmaschine (1) nach Anspruch 10,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Spaltdichte-
25 dichtelement (85) durch ein Spaltdichtblech hergestellt ist, welches eine Spaltdichtkante (87) aufweist, die unter Fliehkrafteinwirkung in den Spalt (73) eingreift und den Spalt (73) verschließt.

30 12. Strömungsmaschine (1) nach Anspruch 10 oder 11,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß das Spaltdichte-
element (85) aus einem hochwärmfesten Material, insbesondere aus einer Nickelbasis- oder Kobaltbasislegierung, hergestellt ist.

13. Strömungsmaschine (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Spaltdichtelement (85) radial an das Dichtsystem (51) angrenzt.

- 5 14. Strömungsmaschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch eine Ausgestaltung als eine Gasturbine (1).

1/13

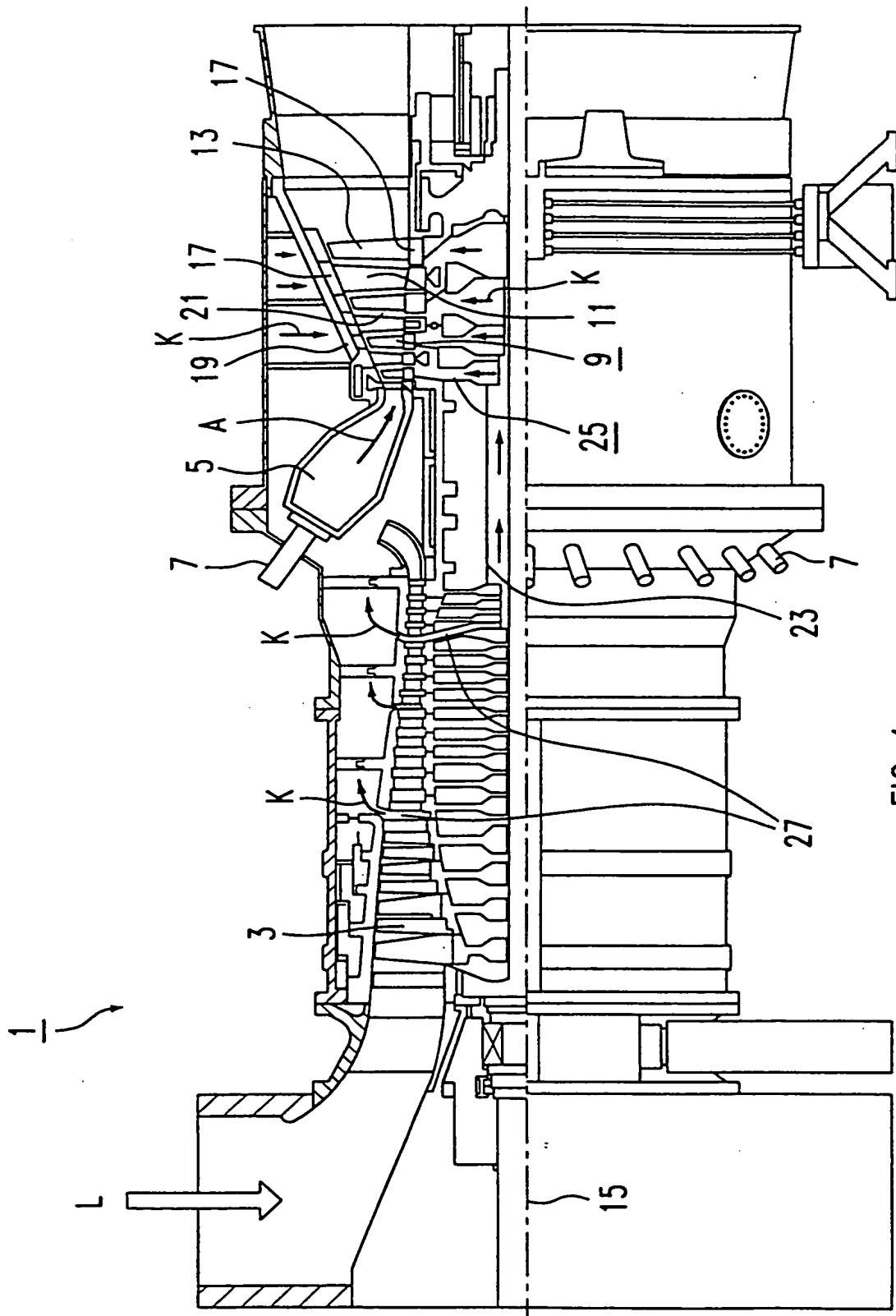


FIG 1

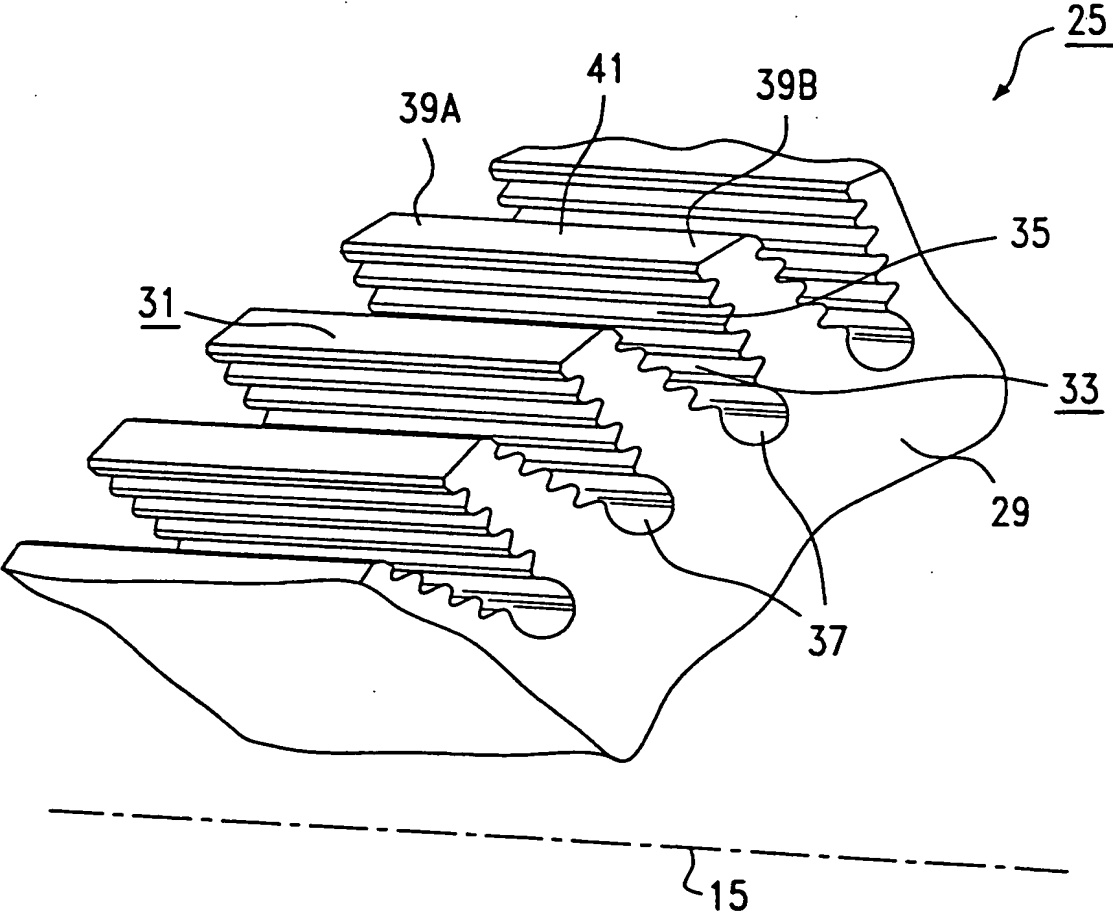


FIG. 2

4/13

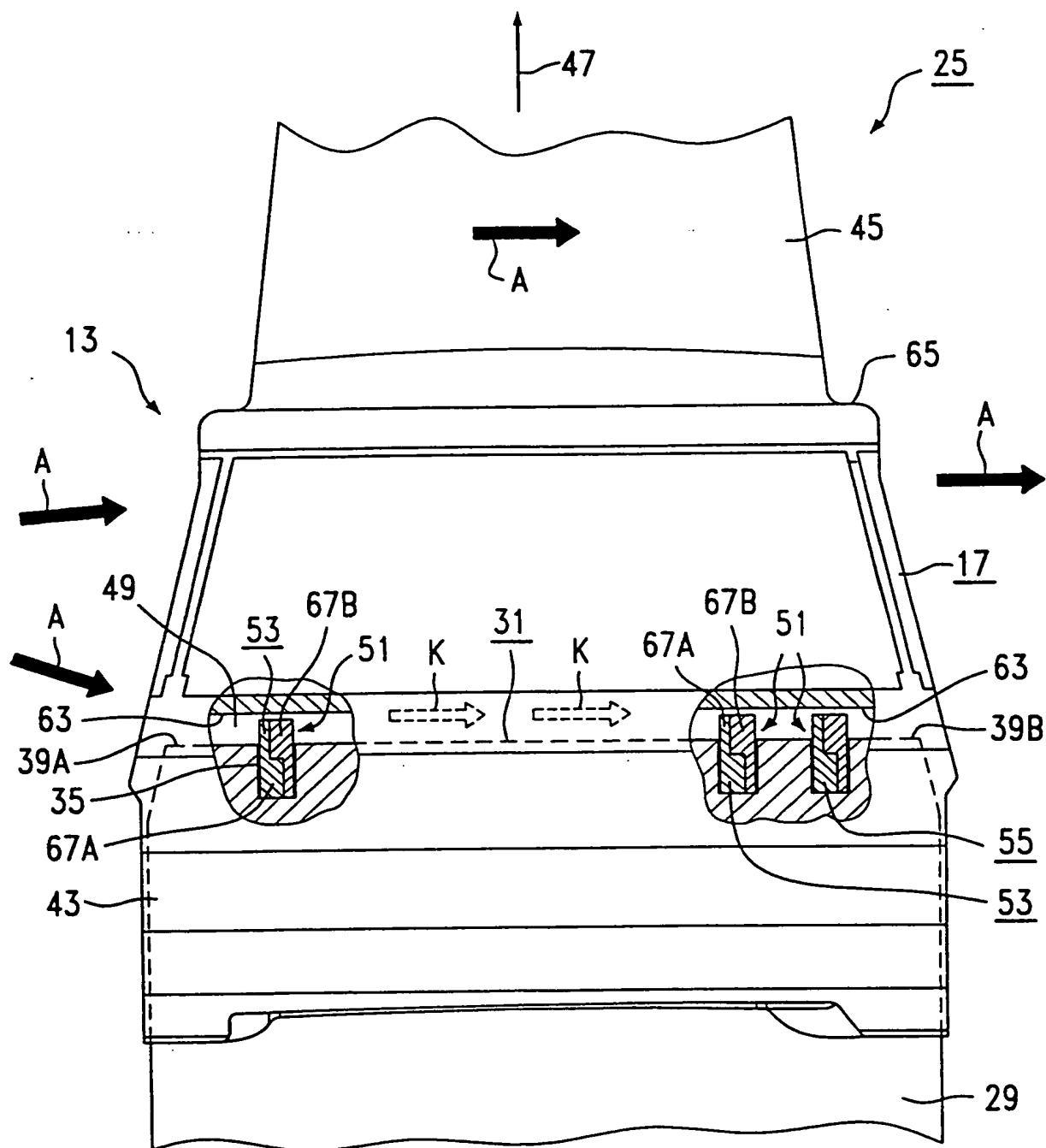
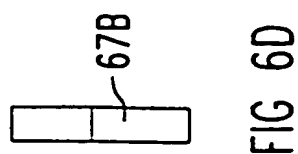
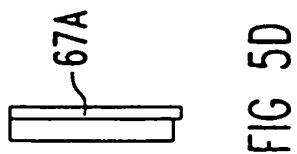
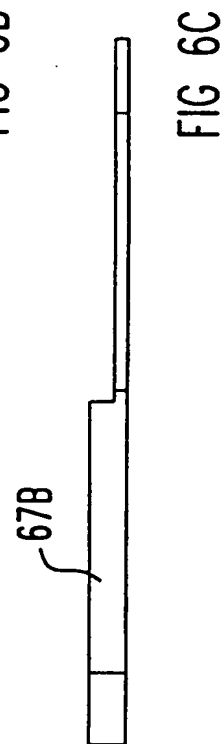
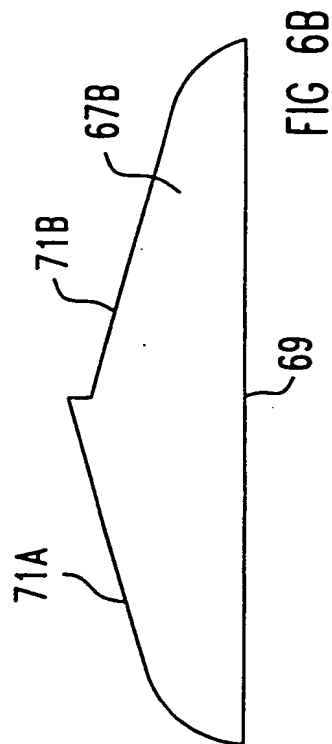
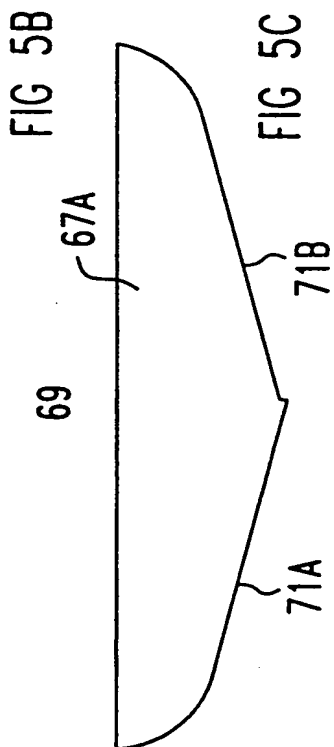
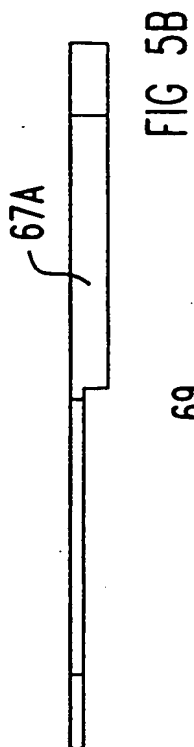
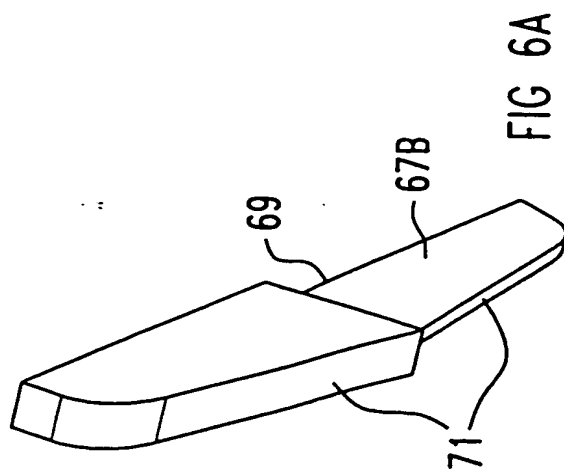
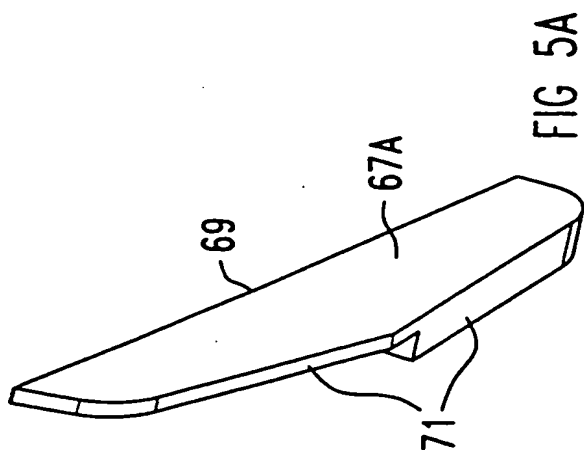


FIG 4

15

5/13



6/13

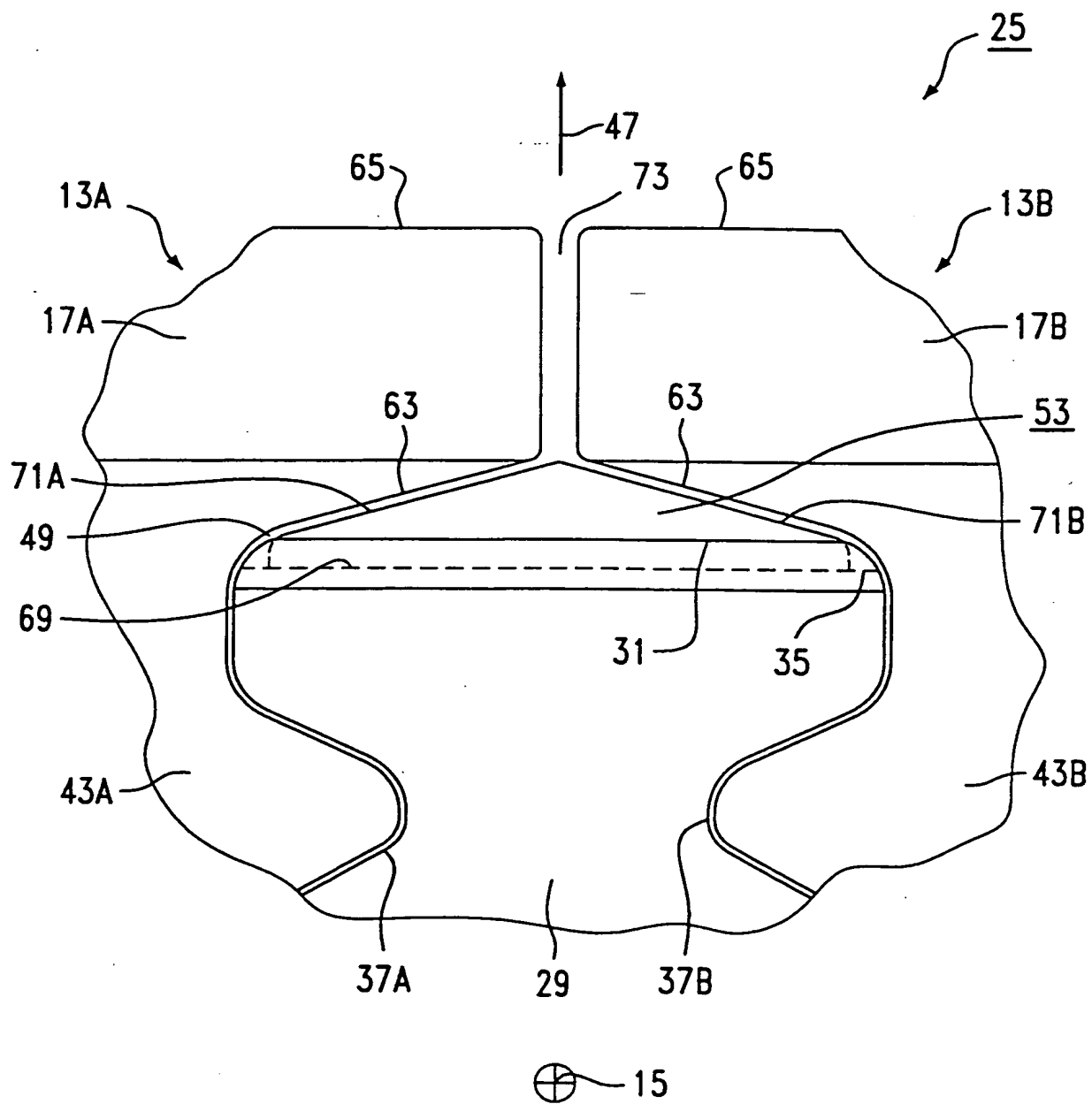
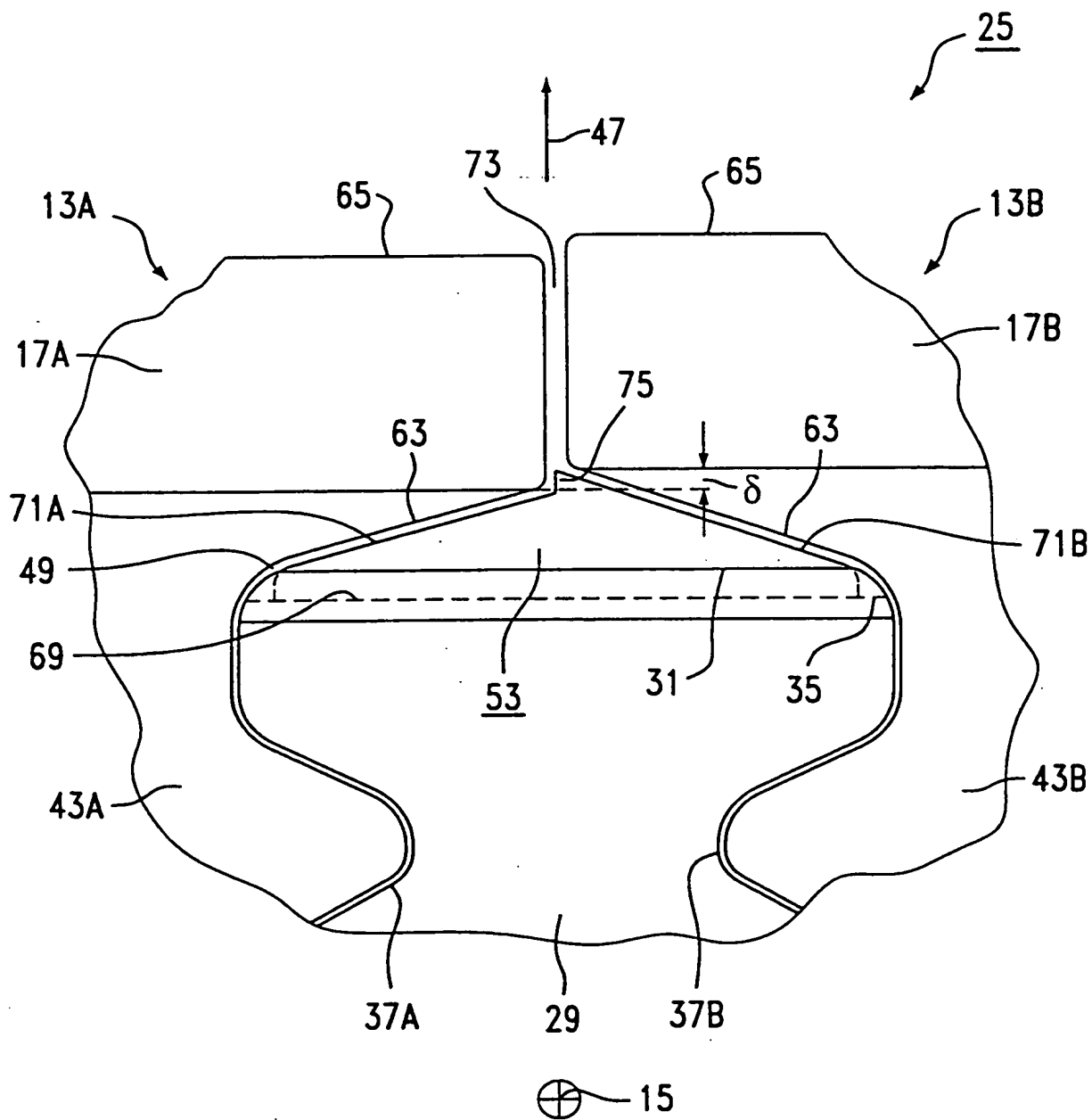


FIG 7

7/13



8/13

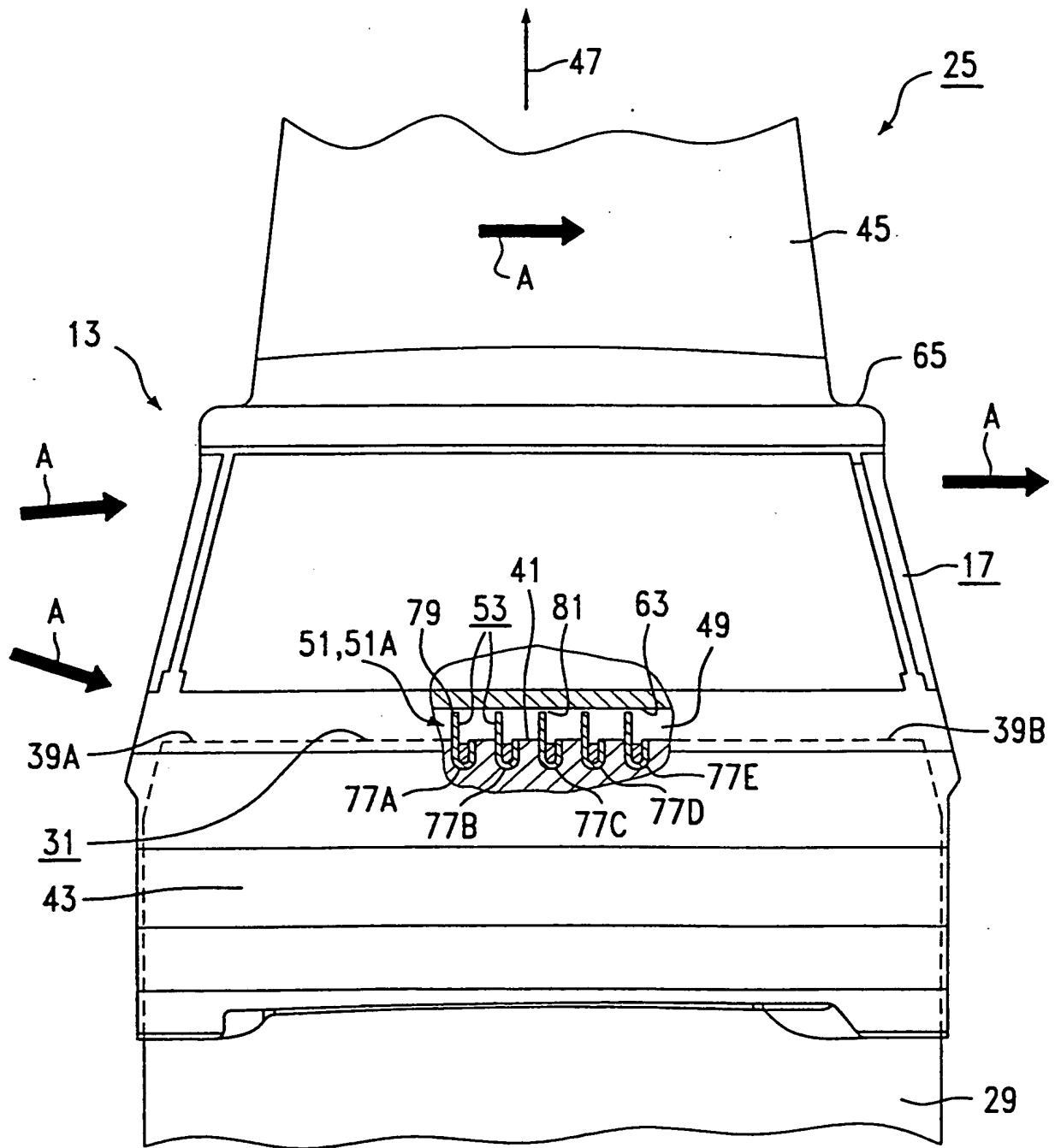


FIG 9

15

9/13

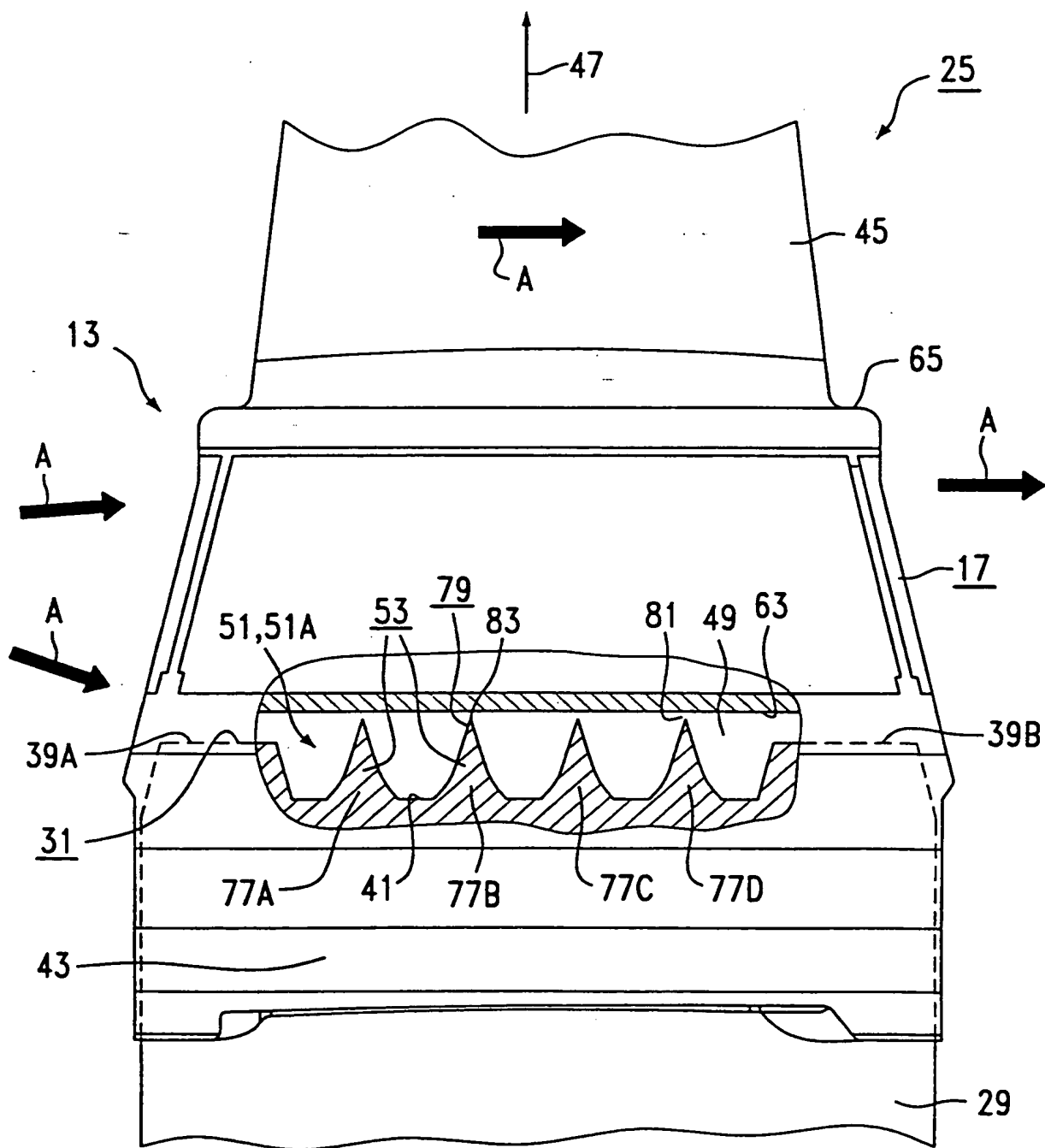
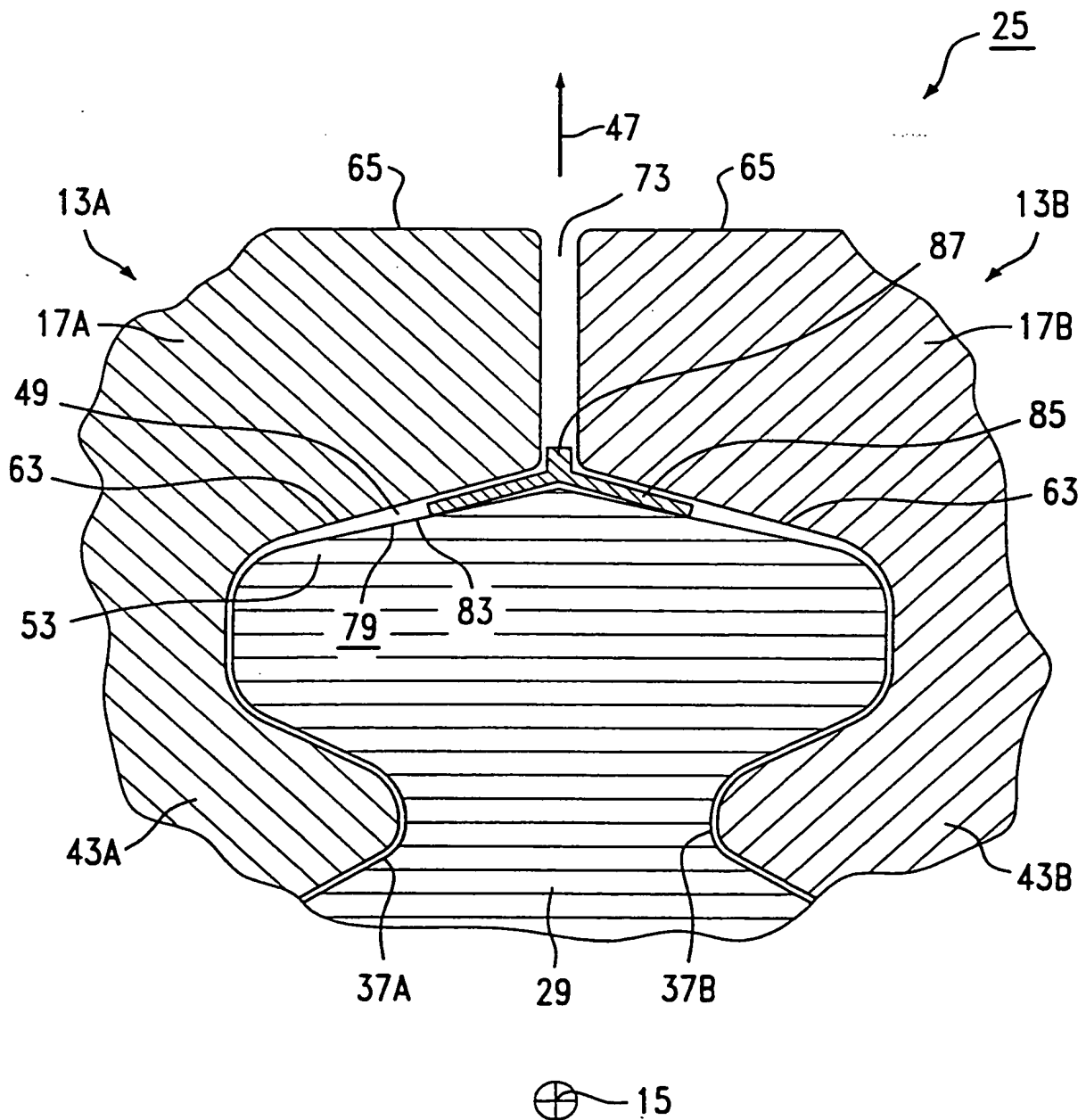


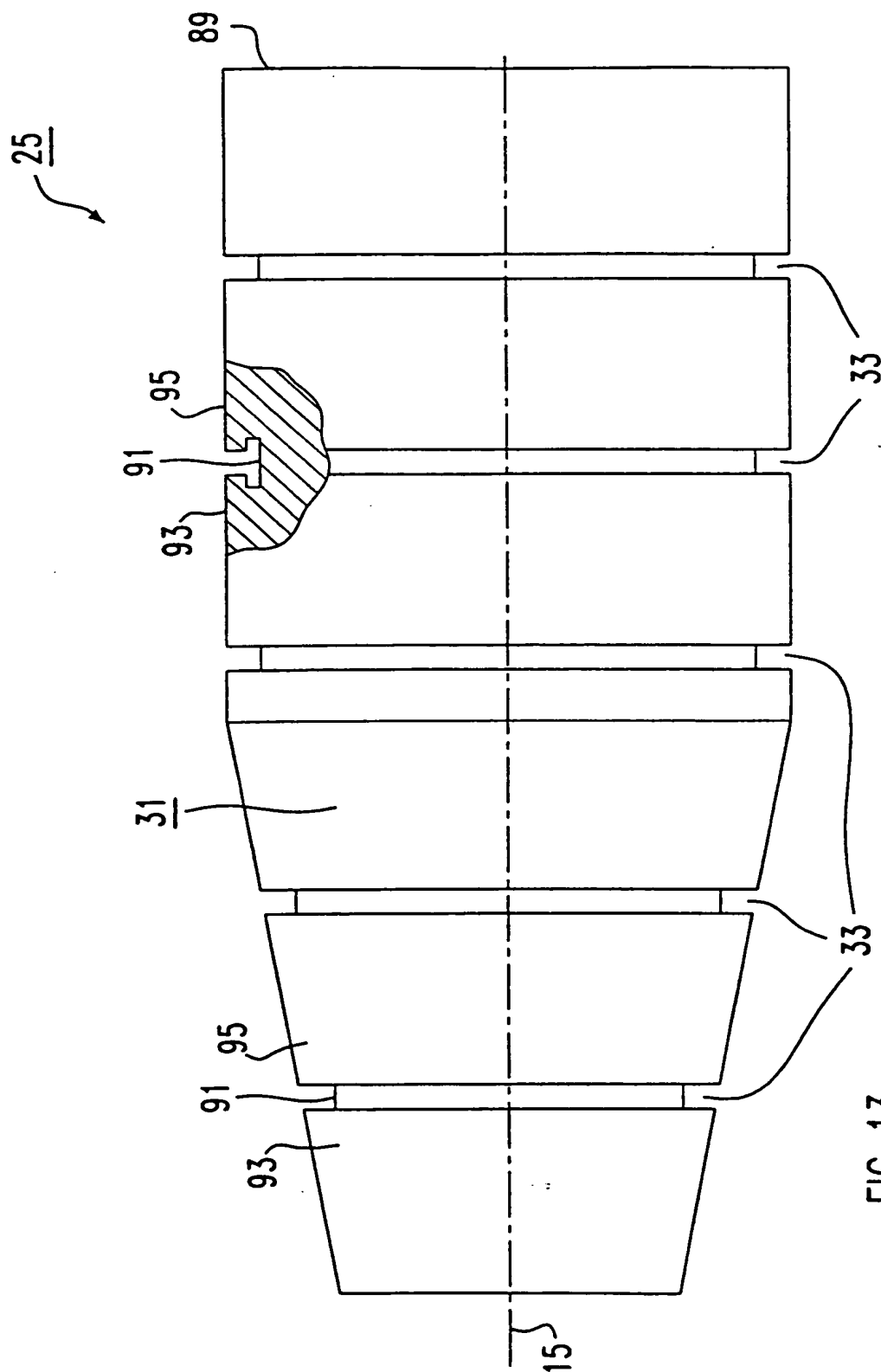
FIG 10

15

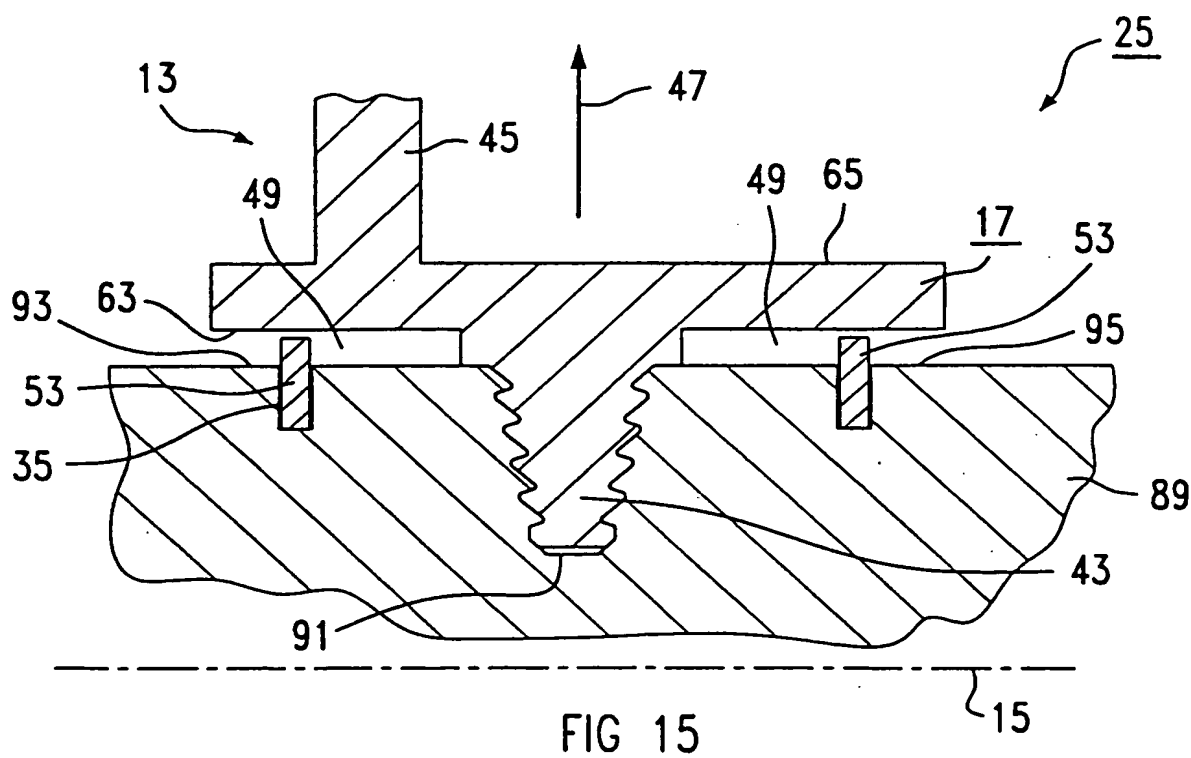
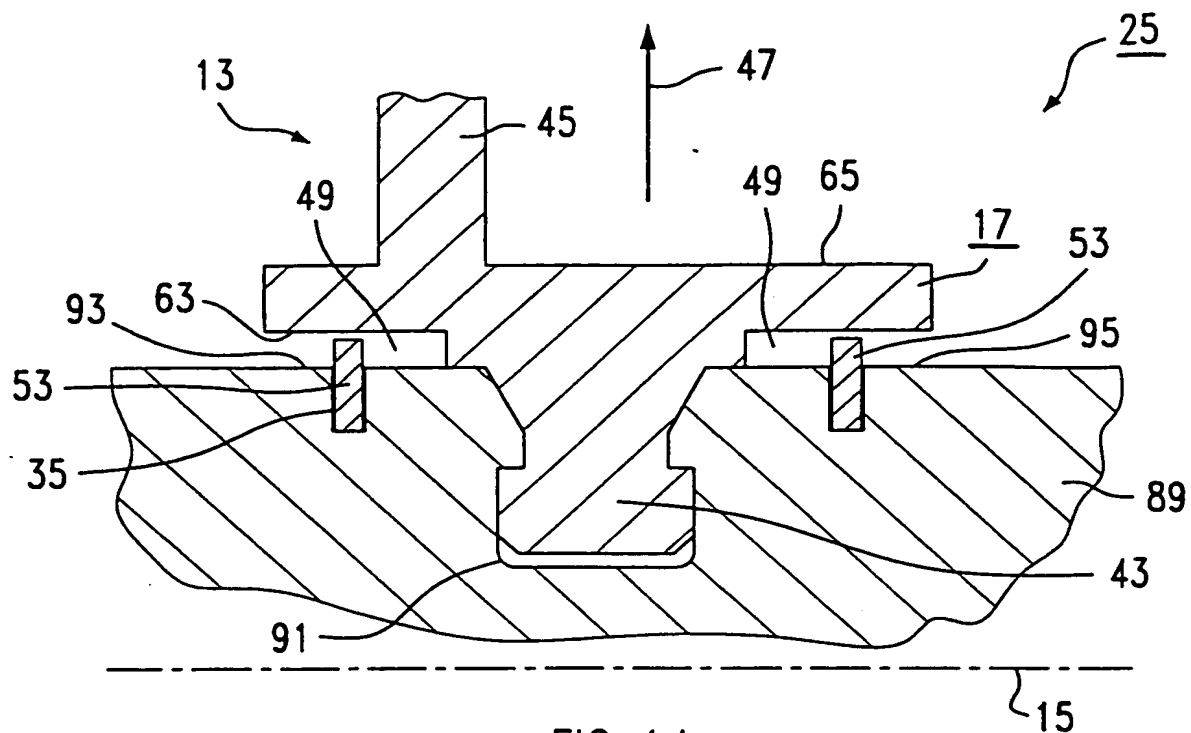
11/13



12/13



13/13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat. Application No

PCT/DE 00/01550

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F01D11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 878 811 A (JORGENSEN STEPHEN W) 7 November 1989 (1989-11-07) the whole document ---	1,3-5,7, 8
X	GB 2 280 478 A (ROLLS ROYCE PLC) 1 February 1995 (1995-02-01) page 12, paragraph 3 -page 13, paragraph 4; figures 10,12 ---	1,2,4, 6-8,14
A	DE 26 58 345 A (MOTOREN TURBINEN UNION) 29 June 1978 (1978-06-29) claims 1-3; figures 1-5 ---	1,2, 10-14
A	GB 905 582 A (ROLLS-ROYCE LTD) 12 September 1962 (1962-09-12) cited in the application page 6, line 90 - line 101 figure 6 ---	1,2,4-8
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 September 2000

Date of mailing of the international search report

20/09/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Iverus, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internatic Application No
PCT/DE 00/01550

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 603 333 A (SNECMA) 4 March 1988 (1988-03-04) page 6, line 13 - line 17 figures	1
A	US 5 256 035 A (NORRIS JAMES W ET AL) 26 October 1993 (1993-10-26) figures column 2, line 63 - line 65	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internatic Application No
PCT/DE 00/01550

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4878811	A	07-11-1989	DE 68900932 D EP 0369926 A JP 2181098 A JP 2644598 B KR 9705865 B	09-04-1992 23-05-1990 13-07-1990 25-08-1997 21-04-1997
GB 2280478	A	01-02-1995	NONE	
DE 2658345	A	29-06-1978	NONE	
GB 905582	A		NONE	
FR 2603333	A	04-03-1988	DE 3762142 D EP 0263002 A US 4730983 A	10-05-1990 06-04-1988 15-03-1988
US 5256035	A	26-10-1993	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat. Aktenzeichen

PCT/DE 00/01550

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 F01D11/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 878 811 A (JORGENSEN STEPHEN W) 7. November 1989 (1989-11-07) das ganze Dokument	1,3-5,7, 8
X	GB 2 280 478 A (ROLLS ROYCE PLC) 1. Februar 1995 (1995-02-01) Seite 12, Absatz 3 -Seite 13, Absatz 4; Abbildungen 10,12	1,2,4, 6-8,14
A	DE 26 58 345 A (MOTOREN TURBINEN UNION) 29. Juni 1978 (1978-06-29) Ansprüche 1-3; Abbildungen 1-5	1,2, 10-14
A	GB 905 582 A (ROLLS-ROYCE LTD) 12. September 1962 (1962-09-12) in der Anmeldung erwähnt Seite 6, Zeile 90 - Zeile 101 Abbildung 6	1,2,4-8
-/-		



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. September 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

20/09/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Iverus, D

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat. Aktenzeichen

PCT/DE 00/01550

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	FR 2 603 333 A (SNECMA) 4. März 1988 (1988-03-04) Seite 6, Zeile 13 - Zeile 17 Abbildungen	1
A	US 5 256 035 A (NORRIS JAMES W ET AL) 26. Oktober 1993 (1993-10-26) Abbildungen Spalte 2, Zeile 63 - Zeile 65	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internat. Aktenzeichen

PCT/DE 00/01550

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum d r V röffnunglichung	Mitglied(er) der Pat ntfamili	Datum der Veröffentlichung
US 4878811 A	07-11-1989	DE 68900932 D EP 0369926 A JP 2181098 A JP 2644598 B KR 9705865 B	09-04-1992 23-05-1990 13-07-1990 25-08-1997 21-04-1997
GB 2280478 A	01-02-1995	KEINE	
DE 2658345 A	29-06-1978	KEINE	
GB 905582 A		KEINE	
FR 2603333 A	04-03-1988	DE 3762142 D EP 0263002 A US 4730983 A	10-05-1990 06-04-1988 15-03-1988
US 5256035 A	26-10-1993	KEINE	